

AC

Abstract not available for EP0845191

Abstract of corresponding document: **GB2319427**

A method for compressing digital image data with greyscale values comprises making at least three predictions of the greyscale value of each pixel and comparing the predicted values with the actual value of the pixel. The difference values between the respective predicted values and the actual value of each pixel is computed, and the median difference value of the three difference values is selected for bit coding. Bit coding is carried out by using variable length bit codes, the shortest length bit code being assigned to the most frequently occurring median difference value. The coded values of the median differences are bit packed, and in the case of a pixel where the absolute median difference value exceeds a predetermined value, the actual pixel value is bit packed.



AC

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl. 7:
H 04 N 7/34

97 EP 0 845 191 B 1
10 DE 696 10 987 T 2

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 696 10 987.5
- 85 PCT-Aktenzeichen: PCT/IE96/00052
- 96 Europäisches Aktenzeichen: 96 927 851.4
- 87 PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 97/07635
- 66 PCT-Anmeldetag: 13. 8. 1996
- 87 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: 27. 2. 1997
- 97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 3. 6. 1998
- 97 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 15. 11. 2000
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 23. 5. 2001

- 30 Unionspriorität:
950613 14. 08. 1995 IE
- 73 Patentinhaber:
Barkfort Ltd., Malahide, Dublin, IE
- 74 Vertreter:
WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und
Rechtsanwälte, 81541 München
- 84 Benannte Vertragsstaaten:
BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IE, IT, LI, NL, SE

72 Erfinder:
KENNEDY, Marshall, Jonathan, Malahide, County
Dublin, IE; KENNEDY, Simon Frederick, Malahide,
County Dublin, IE; KENNEDY, Nicholas Paul,
Portmarnock, County Dublin, IE; MARSHALL,
David, Malahide, County Dublin, IE

Vorlage	Ablage	D 2896
Haupttermin		
Eing.: 30. SEP 2002		
PA. Dr. Peter Riebling		
Bearb.:	Vorgelegt	

DE 696 10 987 T 2

54 VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KOMPRESSION VON DIGITALEN BILDDATEN

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 10 987 T 2

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Gerät zum Komprimieren von digitalen Bilddaten.

Bilder werden gemeinhin in die digitaler Form gespeichert und übertragen. Wenn diese Bilder Graustufen umfassen, wird der Graustufenwert jedes Pixels in digitaler Form, typischerweise in Binärcode bereitgestellt. Bei Bildern, bei denen ein großer Bereich von Graustufenwerten erforderlich ist, beispielsweise bei Röntgenbildern, ist es nicht ungewöhnlich, daß die Graustufenwerte in 8-Bit-Binärcodes codiert werden, so daß man 256 Graustufen erhält. Im allgemeinen werden derartige Bilder in Rasterform bereitgestellt und umfassen eine Mehrzahl von horizontalen Scan-Zeilen, wobei jede Zeile eine Mehrzahl von einzelnen Pixeln umfaßt, denen jeweils ein Graustufenwert zugeordnet ist, der die Graustufe bestimmt, die diesem Punkt in dem Bild entspricht. Typischerweise wird der Graustufenwert in jedem Pixel durch einen 8- bis 12-Bit-Code definiert. Wegen der großen Anzahl von Bits, die zur Definition des Graustufenwerts in jedem Pixel verwendet werden, erfordert ein in Rasterform gespeichertes Bild eine relativ große Speicherkapazität und nimmt außerdem bei der Übertragung des Bilds eine beträchtliche Bandbreite in Kommunikationskanälen in Anspruch. Selbst bei Schwarzweiß-Bildern mit Graustufen ist die Speicherkapazität hoch. Im Falle von Farbbildern, bei denen drei Grundfarben und die entsprechenden Intensitäten der entsprechenden Farben notwendig sind, um jedes Pixel eines Farbbilds zu definieren, wird die Speicherkapazität um einen Faktor drei erhöht. Es wurden zahlreiche Versuche unternommen, derartige Bilder zu komprimieren, derartige Versuche leiden jedoch bis jetzt unter einer Anzahl von Nachteilen. Zunächst sind viele Komprimierungsverfahren nicht verlustlos, anders gesagt gehen zwischen Komprimierung und Dekomprimierung ein Teil der digitalen Daten, die das Bild bilden, verloren, und eine genaue Rekonstruktion des Bildes kann nach der Dekomprimierung nicht vorgenommen werden. Während derartige Verluste bei manchen Anwendungen akzeptiert werden können, sind sie in vielen Fällen gänzlich unakzeptabel, typischerweise bei Bildern, die mit Medizin und diagnostischer Medizin zu tun haben, beispielsweise

bei Röntgenbildern und ähnlichem: Bildkomprimierungssysteme, die im wesentlichen verlustlos sind, leiden unter dem Nachteil, daß das Komprimierungsverhältnis relativ niedrig ist, und somit erhält man in vielen Fällen eine nur geringe Ersparnis im Speicherplatz oder in der durch derartige Bilder bei ihrer Übertragung eingenommenen Bandbreite. Selbst wenn die Komprimierungsverhältnisse annehmbar sind, neigen derartige Bildkomprimierungssysteme dazu, relativ komplex und aufwendig zu sein und einen hohen Zeitverbrauch zu haben, und sie erfordern eventuell einen großen Speicherplatz, um die Komprimierung durchzuführen. Typische Bildkomprimierungssysteme sind in der US-Patentbeschreibung 4,809,350, der europäischen Patentbeschreibung Nr. 0,479,563 und der europäischen Patentbeschreibung Nr. 0,536,801 beschrieben. Die in diesen drei Beschreibungen dargestellten Komprimierungsmethoden leiden unter einem oder mehreren der oben genannten Nachteile.

Beispielsweise offenbart die US-Beschreibung Nr. 4,809,350 ein Komprimierungsverfahren, bei dem ein Bilddatenwert für jeden Bereich vorhergesagt wird, und der tatsächliche Datenwert jedes Bereichs wird von dem vorhergesagten Datenwert abgezogen, um einen Differenzwert zu erzeugen. Der Differenzwert wird durch Codieren komprimiert. Weil bei diesem Komprimierungsverfahren jedoch für jeden Bereich nur eine Vorhersage des Bilddatenwerts gemacht wird, ist das Komprimierungsverfahren eher relativ ineffizient.

Ein weiteres Komprimierungssystem wurde durch Salo und Nevo in einem Aufsatz mit dem Titel "A new two dimensional predictor designed for DPCM coding of video signals" in der Veröffentlichung "Signal processing of HDTV, L'Aquila Workshop No. 2", herausgegeben von Chiariglione, Seiten 207 bis 212, offenbart. In diesem Artikel offenbaren Salo und Nevo ein zweidimensionales Intraframe-Design mit nicht-adaptiver Vorhersageeinrichtung, das nichtlineare Techniken verwendet. Die Vorhersage fußt auf der Auswahl des Medians von fünf eindimensionalen linearen Vorhersagen aus einer Vier-Pixel-Nachbarschaft in einem Frame. Der Median der Vorhersagewerte wird dann vom tatsächlichen Wert des Bereichs abgezogen und codiert. Die von Salo und

Nevo verwendeten Vorhersagen sind relativ kompliziert und erfordern eine Gewichtung der tatsächlichen Werte, für die Vorhersagen erstellt werden. Insbesondere sind die Vorhersagewerte von Salo und Nevo nicht ausgewogen, und daher ist das Verfahren eher relativ ineffizient.

In einem Aufsatz mit dem Titel "Adaptive DPCM with conditional coding", veröffentlicht in "Signal Processing of HDTV, II", herausgegeben von Chiariglione, Seiten 511 bis 518, offenbart Caronna ein Komprimierungsverfahren, bei dem für jedes Bildelement eine Mehrzahl von Vorhersagen erstellt wird, und es wird die Vorhersage ausgewählt, die den kleinsten Vorhersagefehler erzeugt. Es wird dann der Differenzwert zwischen der ausgewählten Vorhersage und dem tatsächlichen Wert des Bildelements codiert. Dieses Verfahren erfordert jedoch, daß Daten im Zusammenhang mit der Vorhersage zusammen mit den codierten Werten übertragen werden, damit der Empfänger erkennen kann, welche Vorhersage auf der Senderseite benutzt worden ist. Entsprechend ist dieses Verfahren eher relativ ineffizient.

Es besteht daher ein Bedürfnis nach einem Verfahren zum Komprimieren von digitalen Bilddaten, das die Probleme bekannter digitaler Bilddatensysteme überwindet und für eine verlustfreie oder praktisch verlustfreie Komprimierung sorgt, während gleichzeitig eine annehmbare Komprimierung erzielt wird.

Die vorliegende Erfindung ist auf das Bereitstellen eines derartigen Verfahrens und Geräts zum Komprimieren digitaler Bilddaten gerichtet.

Der Begriff "Bereich", wie er in dieser Beschreibung und den Ansprüchen durchgehend verwendet wird, meint ein Pixel oder eine Gruppe benachbarter Pixel.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Komprimieren von digitalen Bilddaten bereitgestellt, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt:

Abtasten einer Mehrzahl von Bereichen der Bilddaten in Folge und Bestimmen der tatsächlichen Werte der Bilddaten in entsprechenden Bereichen,

Erstellen mindestens dreier Vorhersagen des Werts der Bilddaten für jeden von mindestens einigen Bereichen auf der Grundlage der bestimmten tatsächlichen Werte der Bilddaten einiger der bereits abgetasteten Bereiche, die zu dem Bereich benachbart sind, für den der Wert der Bilddaten vorhergesagt wird,

Vergleichen jedes der mindestens drei vorhergesagten Werte der Bilddaten mit dem tatsächlichen Wert der Bilddaten des entsprechenden Bereichs für jeden Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird,

Berechnen der Differenzwerte zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten der Bilddaten und dem tatsächlichen Wert der Bilddaten für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird,

Auswählen des Grenzwerts, der der Median der mindestens drei Differenzwerte ist, Differenzwertmedian, für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird, und

Komprimieren der entsprechenden Differenzwertmediane, wobei

eine erste der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird, auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines ersten Bereichs basiert, der zu dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der erste Bereich in der Zeile liegt, in der der Bereich liegt, für den die Vorhersage erstellt wird,

ein zweiter der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird, auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines zweiten Bereichs basiert, der zu dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der zweite Bereich in der Spalte liegt, in der der Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, liegt, und

eine dritte der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird, auf den Gradienten der tatsächlichen Bilddatenwerte von

einem dritten zu dem ersten Bereich und von dem dritten Bereich zu dem zweiten Bereich basiert, wobei der dritte Bereich benachbart zu den ersten und zweiten Bereichen angeordnet ist und in der Zeile liegt, in der der zweite Bereich liegt, und in der Spalte liegt, in der der erste Bereich liegt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden die digitalen Bilddaten Bereich für Bereich als matrixförmige Anordnung von Bereichen abgetastet.

Vorteilhaft berücksichtigt jede dritte Vorhersage der Bilddatenwerte die Neigungen der Gradienten.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung liegt einer der beiden Bereiche, auf denen eine Vorhersage basiert, näher an dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, als der andere der beiden Bereiche, und der Bereich der beiden Bereiche, der dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, am nächsten ist, wird gewichtet.

Vorzugsweise wird eine Vorhersage für den Datenwert jedes Bereichs des digitalen Bilds erstellt.

Gemäß einem der Aspekte der Erfindung werden die entsprechenden Differenzwertmediane komprimiert, indem die Differenzwertmediane durch Codes mit entsprechend variabler Länge codiert werden, wobei den entsprechenden Differenzwertmedianen eindeutige Codes zugeordnet werden.

Vorzugsweise wird der kürzeste Code dem am häufigsten auftretenden Differenzwertmedian zugeordnet, und der längste Code wird dem am wenigstens häufig auftretenden Differenzwertmedian zugeordnet.

Vorteilhaft sind die Codes für die positiven und negativen Werte der absolut gesehen identischen Differenzwertmediane unterschiedlich.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung sind die den Differenzwertmedienen zugeordneten Codes binäre Codes.

Vorteilhaft überschreitet die Länge des längsten Codes in Bits (Bitlänge) für die Differenzwertmediane die Bitlänge des Datenwerts jedes Bereichs nicht.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird anstelle des Differenzwertmedians für einen Bereich der tatsächliche Datenwert des Bereichs beibehalten, wenn der Differenzwertmedian für diesen Bereich einen vorbestimmten Wert überschreitet. Vorzugsweise wird ein erstes Kennzeichen (flag means) gesetzt, um anzuzeigen, daß die Daten, die den Kennzeichen folgen, der tatsächliche Datenwert des Bereichs sind.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein zweites Kennzeichen gesetzt, um eine Folge von tatsächlichen Datenwerten anzuzeigen, wenn die Differenzwertmediane für eine Folge von Bereichen einen vorbestimmten Wert überschreiten. Vorzugsweise ist die Anzahl der tatsächlichen Datenwerte, die Teil der Folge sind, dem zweiten Kennzeichen zugeordnet. In vorteilhafter Weise wird das zweite Kennzeichen vor der Folge der tatsächlichen Datenwerte bereitgestellt.

Idealerweise werden die codierten Differenzwertmediane und die tatsächlichen Datenwerte für die entsprechenden Bereiche in einem vorbestimmten Format zum späteren Rückgewinnen und Dekomprimieren abgelegt.

Im allgemeinen wird dem am häufigsten auftretenden Differenzwertmedian der Wert Null zugeordnet.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird von den digitalen Bilddaten Rauschen abgetrennt, indem von dem Wert der Daten in den entsprechenden Bereichen, in denen eine Vorhersage des Datenwerts erstellt werden soll, und von den benachbarten Bereichen, auf denen die Vorhersagen basieren, vor dem Erstellen der Vorhersage mindestens das niedrigstwertige Bit abgetrennt wird, und die abgetrennten niedrigstwertigen Bits wer-

den verbunden mit den entsprechenden komprimierten Differenzwertmedianen der entsprechenden Bereiche abgelegt. Vorzugsweise werden die Datenwerte, die für die entsprechenden Bereiche verbleiben, bei denen ein oder mehrere niedrigstwertige Bits abgetrennt wurden, durch 2^n geteilt, wobei n gleich der Anzahl der abgetrennten niedrigstwertigen Bits ist.

Vorzugsweise wird vor dem Abtrennen von Rauschen mindestens ein Teil der digitalen Bilddaten abgetastet, um die Anzahl der niedrigstwertigen Bits zu bestimmen.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden die digitalen Bilddaten vor dem Berechnen der vorhergesagten Datenwerte abgeändert, um den in den digitalen Bilddaten auftretende zahlenmäßigen Unterschied zwischen den Datenwerten zu verringern, wobei die digitalen Bilddaten abgeändert werden, indem sämtliche in den Bilddaten auftretenden bestimmten tatsächlichen Datenwerte in der Form einer Reihe von tatsächlichen Datenwerten in aufsteigender Reihenfolge der Datenwerte angeordnet werden, wobei jedem in dem Bild auftretenden tatsächlichen Datenwert ein abgeänderter Datenwert zugeordnet ist, so daß der zahlenmäßige Unterschied zwischen benachbarten abgeänderten Datenwerten geringer als der zahlenmäßige Unterschied zwischen den entsprechenden benachbarten tatsächlichen Datenwerten in der Reihe ist, wobei die abgeänderten Datenwerte die Datenwerte bilden, auf denen die Vorhersagen basieren. Vorzugsweise werden die abgeänderten Datenwerte so zugeordnet, daß der Unterschied zwischen abgeänderten Datenwerten, die in der Reihe von Datenwerten benachbarten Datenwerten entsprechen, Eins ist. In vorteilhafter Weise sind die abgeänderten Datenwerte und die tatsächlichen Datenwerte durch Querverweis in einer Nachschlagtabelle einander zugeordnet. Idealerweise wird eine inverse Nachschlagtabelle, die auf den abgeänderten und den tatsächlichen Datenwerten basiert, zur Verwendung bei der nachfolgenden Rekonstruktion des Bildes vorbereitet.

Vorzugsweise wird jede Nachschlagtabelle mit den abgelegten komprimierten Differenzwertmedianen abgelegt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird zum Vorbereiten jeder Nachschlagtabelle ein Histogramm der in den digitalen Bilddaten auftretenden tatsächlichen Datenwerte erstellt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung definiert der Datenwert jedes Bereichs einen Wert einer Graustufe zwischen einschließlich schwarz und weiß.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung definiert der Datenwert jedes Bereichs einen Wert der Intensität einer Farbe in einem Farbbild.

Idealerweise werden die komprimierten Datenwerte des digitalen Bilds in einem vorbestimmten Format zum Wiederherstellen derselben für eine nachfolgende Dekomprimierung abgelegt.

Idealerweise definiert jeder Bereich ein Pixel. Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist das digitale Bild ein Bild im Rasterformat.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird das Verfahren an einem gewonnenen Bild durchgeführt, nachdem das Bild gewonnen wurde.

In einem anderen Aspekt der Erfindung wird das Verfahren an einem gewonnenen Bild durchgeführt, während das Bild im selben Zuge gewonnen wird.

In einem noch anderen Aspekt der Erfindung wird das Verfahren an dem gewonnenen Bild mit Zwischenspeicherung oder parallel zu einer Zwischenspeicherung durchgeführt.

Das Bild ist in komprimierter Form zum Ablegen und/oder Übertragen geeignet.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird das Verfahren zum Komprimieren eines dreidimensionalen Bilds verwendet, wobei eine der Achsen der dreidimensionalen Bilds die Zeit ist, wobei die Zeitachse eine Zeile oder Spalte der Matrix bildet,

und diese Zeile oder Spalte die Zeile oder Spalte bildet, in der ein Bereich oder Bereiche liegen kann/können, der/die eine Grundlage zum Vorhersagen eines Datenwerts eines Bereichs bildet/bilden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst das Verfahren ferner den Schritt des Dekomprimierens der komprimierten digitalen Bilddaten, wobei das Verfahren zum Dekomprimieren die Schritte in umgekehrter Reihenfolge gegenüber der der Schritte des Verfahrens zum Komprimieren umfasst.

Außerdem stellt die Erfindung eine Vorrichtung zum Komprimieren von digitalen Bilddaten bereit, wobei die Vorrichtung umfasst:

- eine Einrichtung, um eine Mehrzahl von Bereichen der Bilddaten in Folge abzutasten, um die tatsächlichen Werte der Bilddaten in entsprechenden Bereichen zu bestimmen,

- eine Einrichtung zum Erstellen von mindestens drei Vorhersagen für den Wert von Bilddaten in jedem von mindestens einigen der Bereiche auf der Grundlage der bestimmten tatsächlichen Werte einiger der bereits abgetasteten Bereiche, die zu dem Bereich benachbart sind, für den die Bilddaten vorhergesagt werden,

- eine Einrichtung zum Vergleichen jedes der mindestens drei vorhergesagten Werte von Bilddaten mit dem tatsächlichen Wert von Bilddaten des entsprechenden Bereichs für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird,

- eine Einrichtung zum Berechnen der Werte der Unterschiede zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten der Bilddaten und dem tatsächlichen Wert der Bilddaten für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird,

- eine Einrichtung zum Auswählen des Medians der Differenzwerte (Differenzwertmedians) für jeden Bereich, für den eine Vorhersage erstellt wird, und

- eine Einrichtung zum Komprimieren der entsprechenden Differenzwertmediane,

- wobei

- die Einrichtung zum Erstellen der mindestens drei Vorhersagen umfasst:

eine Einrichtung zum Erstellen einer ersten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines ersten Bereichs basiert, der zu dem Bereich benachbart ist, für den die Vorhersage erstellt wird, wobei der erste Bereich in der Zeile liegt, in der der Bereich liegt, für den die Vorhersage erstellt wird,

eine Einrichtung zum Erstellen einer zweiten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines zweiten Bereichs basiert, der zu dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der zweite Bereich in der Spalte liegt, in der der Bereich liegt, für den die Vorhersage erstellt wird, und

eine Einrichtung zum Erstellen einer dritten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf dem Gradienten der tatsächlichen Bilddatenwerte von einem dritten Bereich zu dem ersten Bereich und von dem dritten Bereich zu dem zweiten Bereich basiert, wobei der dritte Bereich benachbart zu den ersten und zweiten Bereichen und benachbart zu dem Bereich, für den die Vorhersage erstellt wird, angeordnet ist und in der Zeile liegt, in der der zweite Bereich liegt, und in der Spalte liegt, in der der erste Bereich liegt.

Die Erfindung wird klarer verständlich werden aus der folgenden Beschreibung einer ihrer Ausführungsformen, die beispielhaft unter Bezug zu der begleitenden Zeichnung gegeben ist, in der:

- Figur 1 eine schematische Darstellung eines digitalen Röntgenbildes ist, bei dem ein Verfahren zum Komprimieren digitaler Bilddaten gemäß der Erfindung angewendet werden soll,
- Figur 2 ein Flußschaubild des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Komprimieren der digitalen Bilddaten ist,
- Figur 3 ein Flußschaubild eines ebenfalls erfindungsgemäßen Verfahrens zum Dekomprimieren der komprimierten digitalen Bilddaten ist,
- Figur 4 ein Teil eines Histogramms ist, das die Häufigkeit des Auftretens von Graustufenwerten im Bild

aus Figur 1 zeigt, nachdem dieses kontrastverstärkt wurde,

- Figur 5(a) eine zahlenmäßige Darstellung des Histogramms aus Figur 4 ist,
- Figur 5(b) eine Nachschlagtabelle zum Abändern des Bilds ist, aus dem das Histogramm aus Figur 4 gewonnen wurde, derart, daß die Unterschiede zwischen in dem Bild auftretenden Graustufenwerten Eins sind,
- Figur 5(c) eine inverse Nachschlagtabelle ist, die die Umkehrung der Nachschlagtabelle aus Figur 5(b) ist, zur Verwendung bei der Wiederherstellung des Bilds während der Dekomprimierung,
- Figur 6(a) eine vergrößerte Ansicht eines Teils des Bildes aus Figur 1 ist, welche Graustufenwerte einiger der Pixel zeigt,
- Figur 6(b) den Wert der niedrigstwertigen Rauschbits zeigt, die von den Pixeln aus Figur 6(a) abgetrennt wurden,
- Figur 6(c) den verbleibenden Datenwert der Pixel aus Figur 6(a) zeigt, nachdem die niedrigstwertigen Rauschbits von den Pixeln abgetrennt wurden,
- Figur 7(a) - (c) Algorithmen gemäß dem Verfahren der Erfindung zeigt zum Erstellen der Vorhersagen von Graustufenwerten für jeden der Pixel aus dem Bild aus Figur 1,
- Figur 7(d) schematisch darstellt, wie die drei Vorhersageverfahren aus den Figuren 7(a) - 7(c) verwendet werden, um einen Differenzwertmedian für jedes Pixel zu bestimmen,
- Figur 7(e) und (f) Algorithmen zeigen und schematisch alternative, ebenfalls erfindungsgemäße Vorhersageverfahren darstellen, die fünf Vorhersagen für Graustufenwerte für jedes Pixel umfassen, um es zu ermöglichen, daß ein Differenzwertmedian ausgewählt wird,
- Figur 8(a) - (d) mathematisch veranschaulichen, wie Differenzwertmediane für 10 Pixel in dem digitalen Bild aus Figur 1 ausgewählt werden,

- Figur 9 eine Nachschlagtabelle zum Codieren von Differenzwertmedianen darstellt,
- Figur 10 ein Verteilungsgraph ist, der die Verteilung der Differenzwertmediane aus dem Bild aus Figur 1 darstellt,
- Figur 11 die Werte einiger der Pixel aus Figur 6 nach Abänderung des Bildes aus Figur 1, um die Unterschiede zwischen in dem Bild auftretenden Graustufenwerten auf Eins zu reduzieren, die Werte der von den abgeänderten Werten der Pixel abgetrennten Rauschbits, und die codierten Differenzwertmediane der Pixel zeigt,
- Figur 12 eine nach Bits zusammengefaßte binäre Zeichenfolge der Pixel aus Figur 11 darstellt,
- Figur 13 und 14 ein Computerprogramm im Pseudocode gemäß der Erfindung zum Komprimieren des Bildes aus Figur 1 darstellen, und
- Figur 15 ein Flußschaubild des Computerprogramms aus Figur 13 und 14 zum Komprimieren des Bildes aus Figur 1 darstellt.

Unter Bezug auf die Zeichnungen wird nun ein Verfahren zum Komprimieren digitaler Daten, typischerweise eines digitalen Röntgenbilds 1, beschrieben. Das digitale Röntgenbild wird im Rasterformat gewonnen, siehe Figur 1, das eine Mehrzahl von Zeilen 4 aus Bereichen hat, die in diesem Falle Pixel 5 sind, die in einer Matrix aus den Zeilen 4 und Spalten 6 gebildet sind. Jedes Pixel 5 definiert den Graustufenwert am Ort des Bildes, der dem Pixel entspricht, mittels eines 8-Bit-Binär-codes. Auch wenn in Figur 1 das Bild 1 aus Darstellungsgründen so dargestellt ist, daß es 12 Zeilen 4 und 16 Spalten 6 von Pixeln 5 hat, ist es einem Fachmann klar, daß ein derartiges Bild im allgemeinen eine wesentlich größere Anzahl von Pixeln 5 pro Zeile und pro Spalte haben würde. Im allgemeinen kann die Anzahl von Pixeln pro Zeile und Spalte von zwischen 64 Pixeln pro Zeile mal 64 Pixeln pro Spalte bis zu 5000 Pixeln pro Zeile mal 4000 Pixeln pro Spalte variieren. Das erfindungs-gemäße Verfahren ist für die Bearbeitung eines Bilds mit jeder beliebigen Anzahl von Pixeln pro Zeile und pro Spalte geeig-

net. Während in der unter Bezug auf die Zeichnungen beschriebenen Ausführungsform der Erfindung der Graustufenwert von jedem Pixel durch einen 8-Bit-Binärkode definiert ist, ist außerdem klar, daß der Graustufenwert durch kleinere oder größere Bitcodes definiert werden kann; in der Tat ist bei Röntgenabbildungen im allgemeinen der Graustufenwert pro Pixel durch 10- oder 12-Bit-Binärkodes definiert. Das erfindungsgemäße Verfahren kann zum Komprimieren jeglichen digitalen Bilds verwendet werden, ungeachtet der Größe des Bitcodes zum Definieren der Graustufenwerte.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Komprimieren des digitalen Bildes umfaßt die folgenden Schritte, die in dem Flußschaubild aus Figur 2 dargestellt sind. In Schritt 1 wird das ursprüngliche Röntgenbild gewonnen und abgetastet, um den tatsächlichen Graustufenwert für jedes Pixel zu bestimmen. In Schritt 2 wird dann überprüft, ob in den in dem gewonnenen Bild auftretenden Graustufenwerten Lücken auftreten. Anders gesagt wird in Schritt 2 überprüft, ob in dem gewonnenen Bild Graustufenwerte fehlen. Falls dies der Fall ist, wird in Schritt 2 das gewonnene Bild derart abgeändert, daß die zahlenmäßigen Unterschiede zwischen in dem Bild auftretenden Graustufenwerten auf Eins reduziert werden. Schritt 2 wird nur ausgeführt, wenn in den in dem gewonnenen Bild auftretenden Graustufenwerten Lücken vorhanden sind. Derartige Lücken in den Graustufenwerten können dadurch verursacht worden sein, daß das Bild bereits abgeändert wurde, beispielsweise durch Kontrastverstärkung. In derartigen Fällen würden viele Graustufenwerte in dem Bild fehlen, und derartige Lücken in den Graustufenwerten würden verhindern, daß nachfolgende Schritte des Verfahrens effektiv durchgeführt würden, wie unten beschrieben wird.

In Schritt 3 wird auf Rauschen in dem gewonnenen Bild überprüft. Falls Rauschen vorhanden ist, wird das Rauschen von jedem Pixel abgetrennt, und dies wird dadurch erzielt, daß das niedrigstwertige Bit oder die niedrigstwertigen Bits von den Graustufenwerten der Pixel abgetrennt werden. Die abgetrennten Rauschbits werden unkomprimiert gespeichert, wie unten im Zusammenhang mit den komprimierten Daten beschrieben wird, so

daß sie während des Dekomprimierens des Bildes wieder an ihren Platz gebracht werden können.

In Schritt 4 wird der Graustufenwert für jedes Pixel vorhergesagt, wobei die Vorhersage auf den bestimmten tatsächlichen Graustufenwerten seiner benachbarten Pixel beruht, wie unten ausführlicher beschrieben wird. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung werden für jedes Pixel drei Vorhersagen für Graustufenwerte erstellt. Die drei vorhergesagten Graustufenwerte für jedes Pixel werden dann mit dem tatsächlichen Wert des Pixels verglichen, und es werden die Werte der Unterschiede zwischen den vorhergesagten Werten und den tatsächlichen Werten berechnet. Der Differenzwertmedian der drei Differenzwerte wird ausgewählt.

In Schritt 5 werden die Differenzwertmediane für die Pixel codiert, wobei Codes variabler Länge verwendet werden, wie unten beschrieben wird.

In Schritt 6 werden die codierten Differenzwertmediane für die Pixel zusammengefaßt ("gepackt"), und, falls ursprünglich Rauschbits abgetrennt wurden, werden die abgetrennten Rauschbits ebenfalls mit den codierten Differenzwertmedianen für die entsprechenden Pixel zusammengepackt.

In Schritt 7 kann eine weitere Komprimierung der zusammengefaßten Bits erfolgen, indem jedes geeignete verlustfreie Datenkomprimierungsverfahren verwendet wird, beispielsweise LZW. Derartige verlustfreie Datenkomprimierungsverfahren sind einem Fachmann im allgemeinen wohlbekannt. Das komprimierte Bild wird dann je nach Wunsch der Ablage zugeführt oder übertragen.

Figur 3 stellt ein Flußschaubild für die Dekomprimierung des komprimierten Bildes dar, das die Schritte 9 bis 16 umfaßt, die praktisch als die Umkehrung der Schritte 1 bis 8 des Komprimierungsflußschaubilds aus Figur 2 angesehen werden können. Das Flußschaubild aus Figur 3 wird unten kurz beschrieben.

Aus Gründen der Einfachheit wird jeder der Schritte 1 bis 8 nachfolgend unter einer getrennten Überschrift beschrieben.

Ursprüngliches Eingangsbild

Wenn das ursprüngliche digitale Röntgenbild gewonnen wird, wird es abgetastet. Weil jedes Pixel den Graustufenwert definiert, den das Pixel in 8-Bit-Binärform darstellt, stehen 256 Graustufenwerte zur Verfügung, und weil das Bild ein Röntgenbild ist, sind im allgemeinen alle 256 Graustufenwerte in dem Bild vorhanden, falls das Bild nicht verändert wurde, beispielsweise durch Kontrastverstärkung oder ähnliches. Sollte beim Abtasten festgestellt werden, daß alle oder im wesentlichen alle Graustufenwerte in dem Bild zu finden sind, ist Schritt 2, nämlich die Abänderung des Bildes zum Reduzieren der zahlenmäßigen Unterschiede zwischen Graustufenwerten auf Eins, nicht erforderlich, und er wird weggelassen. Treten jedoch große Lücken in den in dem Bild zu findenden Graustufenwerten auf, wird das Verfahren nach Schritt 2 auf das Bild angewendet, wie nachfolgend beschrieben wird.

Abänderung des Bildes zum Reduzieren der Graustufenlücken

Nun unter Bezug auf Figur 4 und 5 wird Schritt 2 zum Reduzieren der zahlenmäßigen Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerten nunmehr beschrieben. Es wird ein Histogramm der Häufigkeit der in dem Bild auftretenden Graustufenwerte erzeugt. In Figur 4 ist ein typisches Histogramm graphisch dargestellt, in der Praxis wird das Verfahren jedoch durch ein Computerprogramm ausgeführt, und das Histogramm wird in der Form von Figur 5(a) erzeugt. Wie aus Figur 4 und 5 ersichtlich, hat keines der Pixel in dem Bild einen Graustufenwert von 0. Vier der Pixel haben einen Graustufenwert von 1. Es gibt keine Pixel mit Graustufenwerten von 2 und 3, und es gibt fünf Pixel mit einem Graustufenwert von 4. Keine Pixel haben einen Graustufenwert von 5 und 6, aber zehn Pixel haben einen Graustufenwert von 7. Keines der Pixel hat einen Graustufenwert von 8 oder 9, und elf haben einen Graustufenwert von 10. Aus Gründen der Einfachheit wird hier nicht das gesam-

te Bild besprochen, zum oberen Ende der Graustufenwerte haben jedoch vier Pixel einen Graustufenwert von 247, keines hat Graustufenwerte von 248 und 249, und drei haben einen Graustufenwert von 250, während keines Graustufenwerte von 251 bis 254 hat. Ein Pixel hat einen Graustufenwert von 255. In Figur 5(a) sind die Graustufenwerte oberhalb der Kästchen gezeigt, und die Häufigkeit des Auftretens der Graustufenwerte ist durch die Zahlen in den Kästchen angezeigt. Um die Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerte auf Eins zu reduzieren, wird die Nachschlagtabelle aus Figur 5(b) erstellt. Dem Graustufenwert 1 wird für das reduzierte abgeänderte Bild der Graustufenwert 0 zugeordnet. Dem Graustufenwert 4 wird für das reduzierte abgeänderte Bild der Graustufenwert 1 zugeordnet, dem Graustufenwert 7 wird für das reduzierte abgeänderte Bild der Wert 2 zugeordnet, dem Graustufenwert 10 wird für das reduzierte abgeänderte Bild der Graustufenwert 3 zugeordnet, usw. bis zu dem Graustufenwert 247, dem für das reduzierte abgeänderte Bild der Wert 92 zugeordnet wird, usw. bis zu dem Graustufenwert 255, dem für das reduzierte abgeänderte Bild der Wert 94 zugeordnet wird. Die Graustufenwerte von 4 bis 91 werden ebenfalls in dem reduzierten abgeänderten Bild alle verwendet. Entsprechend sind in dem reduzierten abgeänderten Bild, auf das die verbleibenden Schritte des Verfahrens angewendet werden, die Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerten Eins. Figur 5(c) stellt eine inverse Nachschlagtabelle zum Wiederherstellen des ursprünglichen Bilds während der Dekomprimierung dar, wie unten kurz beschrieben werden wird.

Bei der Erstellung des abgeänderten Bilds werden den Pixeln des gewonnenen Bilds entsprechend der Nachschlagtabelle aus Figur 5(b) die Graustufenwerte der Pixel von 0 bis 94 zugeordnet. Das reduzierte abgeänderte Bild wird dann Schritt 3 unterzogen, wie nunmehr beschrieben wird.

Rauschabtrennung

In Schritt 3 wird das gewonnene Bild, oder, falls das Bild Schritt 2 unterzogen wurde, das reduzierte abgeänderte Bild,

abgetastet, um den Rauschpegel festzustellen. Jedes geeignete Verfahren kann eingesetzt werden, beispielsweise kann die Anzahl der Rauschebenen berechnet werden, indem Bitebenen-Entropiestatistik verwendet wird, die einem Fachmann bekannt ist. Hierdurch bestimmt man die Anzahl der niedrigstwertigen Bits, die von jedem Pixel abzutrennen sind, um das Rauschen auf einen optimalen Pegel zu reduzieren. Durch dieses Verfahren bestimmt man auch, ob das Rauschen nicht ausreichend ist, um eine Abtrennung zu rechtfertigen, und falls dies der Fall ist, wird das Bild dem Schritt 4 zugeführt. Wenn Rauschen vorhanden ist, werden typischerweise ein bis drei niedrigstwertige Bits abgetrennt. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung werden die zwei niedrigstwertigen Bits von dem Wert jedes Pixels abgetrennt und abgelegt. Jedes Pixel wird dann durch vier geteilt, nämlich durch 2^n , wobei n die Anzahl der abgetrennten niedrigstwertigen Bits ist, in diesem Falle nämlich zwei. Hierdurch bleibt die Differenz zwischen den in dem Bild oder dem reduzierten abgeänderten Bild auftretenden Graustufenwerte gleich Eins. Die beiden niedrigstwertigen Bits, die von jedem Pixel abgetrennt worden sind, werden in der Pixelreihenfolge für eine nachfolgende Bitzusammenfassung abgelegt, die unten beschrieben wird. Nach dem Schritt der Rauschreduzierung wird das digitale Bild dann Schritt 4 unterzogen.

Vorhersage des Graustufenwerts

Unter Bezug auf die Figuren 6 bis 8 wird nun Schritt 4, der Schritt des Vorhersagens der Graustufenwerte in jedem Pixel des Bilds beschrieben. Das Bild, das Schritt 4 unterzogen wird, kann das gewonnene Bild sein, wenn das Bild nicht der Abänderung in Schritt 2 und der Rauschabtrennung in Schritt 3 unterworfen wurde. Alternativ kann das Bild, das Schritt 4 unterzogen wird, ein abgeändertes Bild sein, das der Rauschabtrennung unterzogen wurde oder auch nicht, oder das gewonnene Bild sein, das der Rauschabtrennung unterzogen wurde oder auch nicht. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wurde das Bild abgeändert und außerdem einer Rauschabtrennung unterzogen.

Eingangs zu Figur 6(a): Figur 6(a) stellt einen Teil der Matrix der Pixel 5 dar, und in einigen der Pixel 5 sind Pixelwerte gezeigt. Dies sind die tatsächlichen Pixelwerte des gewonnenen Bilds, so wie es gewonnen wurde. Figur 6(b) zeigt die abgeänderten Werte der Pixel von Pixel $P_{[i-1,j-1]}$ bis Pixel $P_{[i,j+9]}$, nachdem das Bild in Schritt 2 abgeändert wurde. Figur 6(c) zeigt die Pixelwerte für dieselben Pixel wie in Figur 6(b), nachdem das Bild dem Schritt 3, nämlich der Rauschreduzierung unterzogen wurde. Es sind die Pixelwerte aus Figur 6(c), die die tatsächlichen Werte der Pixel sind, welche als Grundlage zur Erstellung der drei Vorhersagewerte für die entsprechenden Pixel verwendet werden.

Zum Zweck der Beschreibung des Verfahrens wird der Graustufenwert des Pixels $P_{[i,j]}$ beschrieben. Der Pixelwert von Pixel $P_{[i,j]}$ wird auf der Grundlage der tatsächlichen Werte der folgenden Pixel vorhergesagt:

$$P_{[i,j-1]}, P_{[i-1,j]} \text{ und } P_{[i-1,j-1]}$$

Die drei Vorhersagen für den Wert von Pixel $P_{[i,j]}$ werden erstellt, und die Unterschiede zwischen jedem vorhergesagten Wert und dem tatsächlichen Wert des Pixel $P_{[i,j]}$ aus Figur 6(c) werden berechnet.

Eine erste Vorhersage des Werts des Pixels $P_{[i,j]}$ wird auf der Grundlage des in Figur 6(c) gezeigten tatsächlichen Werts des Pixels $P_{[i,j-1]}$ erstellt, wobei der erste vorhergesagte Wert von $P_{[i,j]}$ beträgt:

$$P1_{[i,j]} = P_{[i,j-1]},$$

siehe Figur 7(a).

Da der Wert des Pixels $P_{[i,j-1]}$ gleich 6 ist, beträgt der erste vorhergesagte Wert

$$P1_{[i,j]} = 6.$$

Eine zweite Vorhersage des Werts des Pixels $P_{[i,j]}$ beruht auf dem in Figur 6(c) gezeigten Wert des Pixels $P_{[i-1,j]}$ und wird durch die Formel

$$P2_{[i,j]} = P_{[i-1,j]},$$

bestimmt, siehe Figur 7(b).

Da der Wert des Pixels $P_{[i-1,j]}$ gleich 11 ist, beträgt der zweite vorhergesagte Wert

$$P2_{[i,j]} = 11.$$

Eine dritte Vorhersage für den Wert des Pixels $P_{[i,j]}$ wird auf der Grundlage der in Figur 6(c) gezeigten Werte der Pixel $P_{[i,j-1]}$, $P_{[i-1,j]}$ und des Gradienten der Pixelwerte in den Zeilen $i-1$ zwischen den Pixeln $P_{[i-1,j-1]}$ und $P_{[i-1,j]}$ sowie des Gradienten der Pixelwerte in der Spalte $j-1$ zwischen den Pixeln $P_{[i-1,j-1]}$ und $P_{[i,j-1]}$ erstellt. Man erhält diesen aus der Formel

$$P3_{[i,j]} = P_{[i,j-1]} + (P_{[i-1,j]} - P_{[i-1,j-1]}),$$

wobei $P3_{[i,j]}$ der dritte vorhergesagte Wert ist.

Der Wert des Pixels $P_{[i-1,j-1]}$ beträgt 8, und da die Werte der Pixel $P_{[i,j-1]}$ und $P_{[i-1,j]}$ 6 bzw. 11 sind, beträgt der dritte vorhergesagte Wert $P3_{[i,j]}$ gemäß der Formel von Figur 7(c) gleich 9.

Die drei vorhergesagten Werte $P1_{[i,j]}$, $P2_{[i,j]}$ und $P3_{[i,j]}$ und der tatsächliche Werte des Pixels $P_{[i,j]}$ werden verglichen, und es werden die entsprechenden Differenzwerte zwischen den vorhergesagten Werten und dem tatsächlichen Wert berechnet. Die Differenzwerte zwischen den drei vorhergesagten Werten und dem tatsächlichen Wert von $P_{[i,j]}$ sind in den Figuren 8(a) bis (c) gezeigt. Der Differenzwert zwischen dem ersten vorhergesagten Wert und dem tatsächlichen Wert beträgt +4, der Differenzwert zwischen dem zweiten vorhergesagten Wert und dem tatsächlichen Wert beträgt -1, und der Differenzwert zwischen dem dritten

vorhergesagten Wert und dem tatsächlichen Wert beträgt +1. Gemäß dem Verfahren der Erfindung wird der Differenzwertmedian ausgewählt, der in diesem Falle gleich +1 ist, siehe Figur 8(d). Der Differenzwertmedian wird dann codiert, wie unten gemäß Schritt 5 beschrieben wird. In den Figuren 8(a), (b) und (c) sind außerdem die Differenzwerte zwischen den ersten, zweiten und dritten vorhergesagten Werten P_1 , P_2 und P_3 und den tatsächlichen Werten der Pixel $P_{[i,j+1]}$ bis $P_{[i,j+9]}$ gezeigt. Die Differenzwertmediane für die Pixel $P_{[i,j+1]}$ bis $P_{[i,j+9]}$ sind in Figur 8(d) gezeigt. Die ersten, zweiten und dritten vorhergesagten Werte P_1 , P_2 bzw. P_3 werden auf dieselbe Weise bestimmt wie es oben für die Bestimmung der ersten, zweiten und dritten vorhergesagten Werte $P_{1[i,j]}$, $P_{2[i,j]}$ und $P_{3[i,j]}$ beschrieben wurde, und die entsprechenden Differenzwerte und die Medianwerte werden genauso auf ähnliche Weise berechnet wie die Differenzwerte und der Differenzwertmedian für das Pixel $P_{[i,j]}$.

Nachdem jeder Differenzwertmedian berechnet wurde, wird der Differenzwertmedian gemäß Schritt 5 codiert, wie nun beschrieben wird.

Differenzcodierung

Nun unter Bezug auf die Figuren 9 und 10, sind die Bitcodes, die zum Codieren der Differenzwertmediane von variabler Länge sind, in der Nachschlagtabelle aus Figur 9 dargestellt. Der Differenzwertmedian 0 ist der am häufigsten auftretende Differenzwertmedian, und daher wird diesem der kürzeste Bitcode, nämlich der aus einem Bit bestehende Code "0" zugeordnet. Die Differenzwertmediane ± 1 sind die am nächsthäufigen auftretenden Differenzwertmediane, und die nächstkürzeren Bitcodes, welche 3-Bit-Codes sind, werden diesen zugeordnet, usw. bis zu den Differenzwertmedianen ± 6 , denen 8-Bit-Codes zugeordnet werden. Figur 10 stellt die Verteilung der Differenzwertmediane für das Röntgenbild aus Figur 1 dar. Jeder Code aus Figur 9 ist ein eindeutiger Code, und wenn er von rechts nach links gelesen wird, kann er sofort als Bitcode zum Codieren der Differenzwertmediane identifiziert werden, wobei die Bedeutung

davon darin liegt, daß es nicht nötig ist, den Anfang und das Ende der Bitcodes für die Differenzwertmediane anzuzeigen, wenn die Bitcodes als Bits zusammengefaßt sind ("bit packed"), wie unten unter Bezug auf Schritt 6 beschrieben wird.

Wie oben gesagt, sind die Bitcodes für die Differenzwerte -6 und +6 8-Bit-Codes. Da der Wert für jedes Pixel in einem 8-Bit-Code bereitgestellt wird, liegt kein Vorteil darin, Differenzwerte größer als -6 oder +6 zu codieren, weil der Bitcode länger wäre als der tatsächliche Bitcode des Pixels. In derartigen Fällen, bei denen der Differenzwertmedian +6 oder -6 überschreitet, wird der tatsächliche Wert des Pixels abgelegt und bitweise zusammengefaßt, siehe den unten beschriebenen Schritt 6. Es wird ein erstes Kennzeichen ("flag means") bereitgestellt, um es zu kennzeichnen, wenn ein tatsächlicher Wert eines Pixels bitweise zusammengefaßt wird, und in diesem Falle ist das erste Kennzeichen ein 8-Bit-Code, der in der Nachschlagtabelle aus Figur 9 hinter der Abkürzung "Lit 1" angegeben ist. Hier wird unter dem tatsächlichen Wert der Wert des Pixels nach Abänderung des Bilds in Schritt 2 und Rauschreduzierung in Schritt 3 verstanden. Trifft man auf eine Folge von Pixeln, bei denen der Differenzwertmedian jeweils ± 6 überschreitet, werden die tatsächlichen Werte der Pixel in der Folge bitweise zusammengefaßt. Es wird ein zweites Kennzeichen ("flag means"), um anzuzeigen, daß eine Folge von tatsächlichen Werten von Pixeln bitweise zusammengefaßt wird, durch einen 8-Bit-Code bereitgestellt, der in der Nachschlagtabelle aus Figur 9 hinter der Abkürzung "Lit N" angegeben ist. Nach dem 8-Bit-Code des zweiten Kennzeichens wird die Anzahl der Pixel in Folge in einem 4-Bit-Code bereitgestellt, und dann werden die 8-Bit-Werte der entsprechenden Pixel in der Folge als Bit zusammengefaßt, wie unten beschrieben wird. Nachdem der Differenzwertmedian jedes Pixels codiert wurde oder sein tatsächlicher Wert beibehalten wurde, wird der codierte Wert oder der tatsächliche Wert bitweise in einer Bit-Zeichenfolge gemäß Schritt 6 zusammengefaßt, der nachfolgend beschrieben wird.

Bitzusammenfassung

Die bitweise Zusammenfassung der codierten Differenzwertmedianen, der tatsächlichen Werte der Pixel - wo passend - und der abgetrennten niedrigstwertigsten Rauschbits wird nun unter Bezug auf die Figuren 11 und 12 beschrieben. Figur 11 stellt die Differenzwertmediane für die Folge $P_{[i,j]}$ bis $P_{[i,j+9]}$ dar. Die Differenzwertmediane dreier der Pixel überschreiten ± 6 , und somit werden die tatsächlichen Werte dieser Pixel beibehalten. Figur 11 zeigt außerdem die tatsächlichen abgeänderten Werte der Pixel $P_{[i,j]}$ bis $P_{[i,j+9]}$ und auch die Werte der Rauschkomponenten, nämlich die Werte der beiden niedrigstwertigen Rauschbits, die von den Pixeln $P_{[i,j]}$ bis $P_{[i,j+9]}$ abgetrennt wurden. Figur 12 zeigt die Bits der Pixel $P_{[i,j]}$ bis $P_{[i,j+9]}$, die bitweise in eine Zeichenfolge von Bits zusammengefaßt wurden. Der Differenzwertmedian von Pixel $P_{[i,j]}$ beträgt $+1$, und der Differenzwertcode aus der Nachschlagtabelle aus Figur 9 lautet 101. Die Rauschbits, die von dem Pixelwert abgetrennt wurden, werden mit dem Differenzwertcode verbunden und in die Zeichenfolge eingefügt. In diesem Falle sind die Rauschbits, die in Schritt 3 abgetrennt wurden, die Bits 01. Aus Gründen der Einfachheit und um das Verständnis von Figur 12 zu erleichtern, sind die niedrigstwertigen Bits, die zusammen mit den Differenzwertmediancodes und den tatsächlichen Werten eingefügt wurden, unterstrichen. Die Bits für jedes Pixel aus Figur 12 sind miteinander verbunden und in Kästchen dargestellt. Der Wert des Differenzwertmediancodes oder des tatsächlichen Werts des Pixels, der bitweise zusammengefaßt wird, ist für jedes Pixel oberhalb des betreffenden Kästchens angezeigt. Der Differenzwertmedian von Pixel $P_{[i,j+1]}$ beträgt ebenfalls $+1$, und somit lautet der Differenzwertmediancode 101. Die abgetrennten Rauschbits von 10 werden mit dem Differenzwertmediancode 101 verbunden. Im Falle von Pixel $P_{[i,j+2]}$ beträgt der Differenzwertmedian -2 , und somit ist der Differenzwertmediancode 1100. Die beiden niedrigstwertigen Rauschbits 11, die von Pixel $P_{[i,j+2]}$ abgetrennt wurden, werden mit dem Differenzwertmediancode verbunden. Da die Differenzwertmediane der Pixel $P_{[i,j+3]}$ und $P_{[i,j+4]}$ größer als ± 6 sind, wurden die tatsächlichen Werte 26 bzw. 34 dieser beiden Pixel in die Bitzeichenfolge eingefügt. Um je-

doch anzuzeigen, daß die tatsächlichen Werte der beiden Pixel $P_{[i,j+3]}$ und $P_{[i,j+4]}$ in die Bitzeichenfolge eingefügt wurden, wurde das zweite Kennzeichen "Lit 2" in der Bitzeichenfolge vor den tatsächlichen Werten dieser beiden Pixel eingefügt, und dem zweiten Kennzeichen "Lit 2" folgt der 4-Bit-Code, der anzeigt, daß die nächsten beiden Werte hinter dem zweiten Kennzeichen "Lit 2" tatsächliche Werte sind. Da von dem Pixel $P_{[i,j+3]}$ keine Rauschbits abgetrennt wurden, werden die beiden Bits 00 mit dem tatsächlichen Wert des Pixels $P_{[i,j+3]}$ verbunden. Die Rauschbits 01, die von dem Pixel $P_{[i,j+4]}$ abgetrennt wurden, werden mit dem tatsächlichen Wert des Pixels in der Bitzeichenfolge verbunden. Der Differenzwertmediancode wird für die Pixel $P_{[i,j+6]}$ und $P_{[i,j+7]}$ bitweise zusammengefaßt. Da der Differenzwertmedian des Pixels $P_{[i,j+8]}$ +6 überschreitet, wird der tatsächliche Wert zusammen mit den Rauschbits, die abgetrennt wurden, bitweise zusammengefaßt. Im Falle des Pixels $P_{[i,j+9]}$ wird der Differenzwertmediancode bitweise zusammen mit den Rauschbits, die abgetrennt wurden, zusammengefaßt.

Nach der bitweisen Zusammenfassung ("bit packing") ist die Komprimierung des Bilds gemäß der Erfindung abgeschlossen. Das komprimierte bitweise zusammengefaßte Bild kann dann weiteren wohlbekannten Komprimierungstechniken, beispielsweise, falls erwünscht, einer LZW-Komprimierung unterzogen werden. Das bitweise zusammengefaßte Bild oder das komprimierte bitweise zusammengefaßte Bild wird dann zusammen mit einer zugehörigen Kopfzeileninformation, welche für die Dekomprimierung notwendig ist, ausgegeben, und das komprimierte bitweise zusammengefaßte Bild und die Kopfzeileninformation kann abgelegt oder übertragen werden. Die Kopfzeileninformation umfaßt Details der Bildbreite, Bildhöhe und der Anzahl von Bits pro Pixel, mit anderen Worten, die Anzahl von Bits, die verwendet wurden, um den Graustufenwert jedes Pixels in dem ursprünglich gewonnenen Bild anzugeben. Die Kopfzeileninformation umfaßt außerdem eine Angabe dazu, ob das Bild abgeändert wurde, um die Lücken zwischen den in dem ursprünglichen Bild aufgetretenen Grauwerten zu reduzieren oder nicht, und falls dies der Fall ist, umfaßt die Kopfzeileninformation auch die inverse Nachschlagtabelle. Die Kopfzeileninformation umfaßt die Anzahl von

niedrigstwertigen Bits, die bei dem Komprimierungsverfahren abgetrennt wurden, um die Rauschreduktion zu optimieren. Die Kopfzeileninformation umfaßt auch die Algorithmen, die zum Vorhersagen der Graustufenwerte jedes Pixels verwendet wurden.

Nun zu Figur 3: es werden kurz die Schritte der Dekomprimierung beschrieben. In Schritt 9 wird das komprimierte Bild aus Schritt 8 gewonnen. In Schritt 10 wird das bitweise zusammengefaßte Bild dekomprimiert, falls das bitweise zusammengefaßte Bild einer LZW-Komprimierung oder einer anderen wohlbekannten Komprimierung unterzogen wurde, wobei der geeignete Dekomprimierungsalgorithmus verwendet wird. Schritt 10 entfällt, wenn das in Schritt 9 gewonnene Bild dem Schritt 7 nicht unterzogen wurde. In Schritt 11 werden kann die Bits getrennt, und die niedrigstwertigen Bits werden von den codierten Differenzwertmedianen bzw. gegebenenfalls den tatsächlichen Werten der Pixel getrennt. Das Bild aus Schritt 11 wird dann Schritt 12 unterzogen, indem unter Verwendung ähnlicher Algorithmen wie der unter Bezug auf Schritt 4 beschriebenen die Werte der Pixel vorhergesagt werden und die Differenzwertmediane bestimmt werden. In Schritt 13 werden die Differenzwertmediane dann unter Verwendung der Tabelle aus Figur 9 in umgekehrter Weise decodiert, und das Bild wird dann Schritt 14 unterzogen, in dem den in Schritt 13 bestimmten Pixelwerten das Rauschen wieder hinzugefügt wird. Falls das Bild einer Reduktionsänderung gemäß Schritt 2 unterzogen wurde, wird das Bild Schritt 15 unterzogen, in dem unter Verwendung der inversen Nachschlagtafel aus Figur 5(c) Schritt 2 des Komprimierungsverfahrens umgekehrt wird, und dann wird in Schritt 16 ein wiederhergestelltes Bild ausgegeben, das mit dem ursprünglichen, in Schritt 1 gewonnenen Bild identisch ist.

Nun wieder zu den Figuren 7(e) und 7(f), in denen zwei alternative Vorhersageverfahren zum Vorhersagen des Werts des Pixels $P_{(i,j)}$ dargestellt sind. Bei jedem dieser Vorhersageverfahren werden zusammen mit den bereits beschriebenen ersten drei Vorhersagen $P1_{(i,j)}$, $P2_{(i,j)}$ und $P3_{(i,j)}$ zwei weitere zusätzliche Vorhersagen der Pixelwerte von Pixel $P_{(i,j)}$ erstellt. Im Falle des Verfahrens aus Figur 7(e) wird eine vierte Vorhersage

$P4_{[i,j]}$ des Pixelwerts des Pixels $P_{[i,j]}$ auf der Grundlage der in der Zeile i vorhergehenden zwei Pixel, nämlich dem Pixel $P_{[i,j-1]}$ und dem Pixel $P_{[i,j-2]}$ anhand der Formel

$$P4_{[i,j]} = 2 \times P_{[i,j-1]} - P_{[i,j-2]}$$

erstellt.

Da das Pixel $P_{[i,j-1]}$ näher an dem Pixel $P_{[i,j]}$ als das Pixel $P_{[i,j-2]}$, wird dieses letztere Pixel $P_{[i,j-2]}$ mit einer Gewichtung von 2 gewichtet. Das Pixel $P_{[i,j-2]}$ ergibt den Gradienten der Pixelwerte zwischen dem Pixel $P_{[i,j-2]}$ und dem Pixel $P_{[i,j-1]}$. Die fünfte Vorhersage $P5_{[i,j]}$ wird auf der Grundlage der beiden benachbarten Pixel in der Spalte j , nämlich des Pixels $P_{[i-1,j]}$ und des Pixels $P_{[i-2,j]}$ in ähnlicher Weise anhand der Formel

$$P5_{[i,j]} = 2 \times P_{[i-1,j]} - P_{[i-2,j]}$$

erstellt.

Da das Pixel $P_{[i-1,j]}$ dem Pixel $P_{[i,j]}$ am nächsten liegt, wird ihm eine Gewichtung von 2 gegeben, während das Pixel $P_{[i-2,j]}$ den Gradienten ergibt.

Bei dieser Ausführungsform der Erfindung werden die Differenzwerte zwischen den fünf vorhergesagten Werten $P1_{[i,j]}$, $P2_{[i,j]}$, $P3_{[i,j]}$, $P4_{[i,j]}$ und $P5_{[i,j]}$ und dem tatsächlichen Wert des Pixels $P_{[i,j]}$ berechnet, und der Differenzwertmedian der fünf Differenzwerte wird ausgewählt.

Im Falle von Figur 7(f) beruhen die vierte und fünfte Vorhersage, die hier der Einfachheit halber mit $P6_{[i,j]}$ und $P7_{[i,j]}$ bezeichnet werden, auf Pixeln, die diagonal in Reihe mit dem Pixel $P_{[i,j]}$ liegen, und zwar anhand der Formeln

$$P6_{[i,j]} = 2 \times P_{[i-1,j-1]} - P_{[i-2,j-2]},$$

und

$$P7_{[i,j]} = 2 \times P_{[i-1,j+1]} - P_{[i-2,j+2]}.$$

Die dem Pixel $P_{[i,j]}$ der diagonal ausgerichteten Pixel am nächsten liegenden Pixel, nämlich die Pixel $P_{[i-1,j-1]}$ und $P_{[i-1,j+1]}$ werden entsprechend mit einem Wert von 2 gewichtet. Die Pixel $P_{[i-2,j-2]}$ und $P_{[i-2,j+2]}$ ergeben den Gradienten der Pixelwerte zwischen den Pixeln $P_{[i-2,j-2]}$ und $P_{[i-1,j-1]}$ bzw. $P_{[i-2,j+2]}$ und $P_{[i-1,j+1]}$. In diesem Falle werden die Differenzwerte zwischen den fünf vorhergesagten Werten $P1_{[i,j]}$, $P2_{[i,j]}$, $P3_{[i,j]}$, $P6_{[i,j]}$ und $P7_{[i,j]}$ und dem tatsächlichen Wert des Pixels $P_{[i,j]}$ berechnet, und der Differenzwertmedian der fünf Differenzwerte wird ausgewählt.

Indem anstelle von dreien fünf Vorhersagen verwendet werden, liegen die Differenzwertmediane im allgemeinen näher an 0.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann in Hardware oder in Software umgesetzt werden, typischerweise wird es in Software auf einem Computer umgesetzt werden, es kann jedoch auch in einen integrierten Schaltkreischip implementiert werden. Ein typisches Computerprogramm im Pseudocode ist in den Figuren 13 und 14 dargestellt, und ein Flußschaubild des Computerprogramms ist in Figur 15 dargestellt. Das Computerprogramm wird nun kurz beschrieben, es ist jedoch dem Fachmann leicht ersichtlich, daß viele andere geeignete Programme zum Implementieren des Verfahrens verwendet werden können, ohne daß der Bereich der Erfindung verlassen wird. Das Computerprogramm aus Figur 13 und 14 unterzieht das digitale Bild zwei Stufen. Die erste Stufe wird unter Bezug auf Figur 13 beschrieben, und die zweite Stufe wird unter Bezug auf Figur 14 beschrieben. Die erste Stufe umfaßt drei Funktionen. Die erste Funktion besteht darin, die Graustufenwerthäufigkeitszeichenfolge aus dem digitalen Bild zu erzeugen. Die zweite Funktion besteht darin, die Graustufenwertreduktions- und -wiederherstellungsnachschlagtabellen zu berechnen, mit anderen Worten, die Nachschlagtabelle aus Figur 5(b) für die Vorwärtsrichtung zum Erzeugen eines reduzierten abgeänderten digitalen Bilds und die inverse Nachschlagtabelle aus Figur 5(c) zum Wiederumwandeln des abgeänderten reduzierten Bilds in seine ursprüngliche Form nach dem Dekomprimieren. Die dritte Funktion bestimmt die Anzahl der niedrigstwertigen Bits, die von dem Graustufenwert jedes Pi-

xels abgetrennt werden sollen, um die Rauschreduzierung zu optimieren.

In Zeile 1 des Programms werden die Graustufenhäufigkeitszeichenfolgen auf Null gesetzt. In den Zeilen 2 und 3 wird beim Abtasten des Bilds die Häufigkeitszeichenfolge aus Figur 5(a) erzeugt, indem der Graustufenwerthäufigkeitszählwert für jeden Graustufenwert erhöht wird, wenn ein Pixel dieses Graustufenwerts im Bild erfaßt wird. In den Zeilen 4 und 5 werden die Nachschlagtabelle aus Figur 5(b) für die Vorwärtsrichtung und die inverse Nachschlagtabelle aus Figur 5(c) erzeugt. In den Zeilen 6, 7, 8 und 9 wird für jede Bitebene, ausgehend von der niedrigstwertigen Bitebene die Entropiestatistik und die Durchlaufstatistik berechnet. Wenn einer der Tests Rauschen indiziert, dann wird die Funktion unterbrochen und die Rauschebene NR um 1 erhöht. Die Bestimmung der Anzahl der abzutrennenden niedrigstwertigen Bits unter Verwendung von Bitebenenentropiestatistik sind einem Fachmann sicherlich wohlbekannt.

Die zweite Stufe des Computerprogramms wird nun unter Bezug auf Figur 14 beschrieben. Die Stufe 2 umfaßt zwei Programmfunktionen. Die erste Funktion gibt Bildkopfzeileninformationen zur Verwendung bei der Dekomprimierung aus, und die zweite Funktion komprimiert die Daten gemäß dem Verfahren. In den Zeilen 1, 2 und 3 der ersten Funktion der zweiten Stufe wird die Bildkopfzeile gebildet, die die Bildbreite, -höhe und die Bits pro Pixel umfaßt. Der Kopf umfaßt außerdem die Anzahl der zum Optimieren der Rauschreduzierung abgetrennten niedrigstwertigen Bits und die inverse Nachschlagtabelle zum Wiederherstellen des Graustufenwerts des komprimierten Bilds, um das ursprüngliche Bild nach der Dekomprimierung zu bilden. Diese Kopfzeileninformation wie auch die weitere oben besprochene Kopfzeileninformation wird zusammen mit dem komprimierten Bild ausgegeben. Die zweite Programmfunktion, die das Bild komprimiert, beginnt mit Zeile 4, die die Funktion 1 der ersten Stufe aufruft, um die Graustufenhäufigkeitszeichenfolge aus Figur 5(a) zu erstellen. Die Zeile 5 der zweiten Programmfunktion der zweiten Stufe ruft die zweite Funktion der ersten Stufe auf, um die Nachschlagtabelle für die Vorwärtsrichtung und die

inverse Nachschlagtabelle aus den Figuren 5(b) und (c) zu berechnen. Die Zeile 6 der zweiten Programmfunktion der zweiten Stufe ruft die dritte Funktion der ersten Stufe auf, nämlich die Funktion, die die Anzahl der abzutrennenden niedrigstwertigen Bits berechnet. Die Zeile 7 der zweiten Stufe ruft die Ausgangsbildkopfzeileninformation auf. Die zweite Stufe geht dann zu Zeile 8 über, und für jedes Pixel in dem Bild wird in Zeile 8 die Graustufenwertreduktionsnachschlagtabelle aus Figur 5(b) herangezogen, um ein abgeändertes Bild zu erzeugen, bei dem die zahlenmäßigen Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerten auf Eins reduziert werden. In Zeile 9 der zweiten Stufe wird die geeignete Anzahl von niedrigstwertigen Bits vom Bitwert jedes Pixels abgetrennt und dann der verbleibende Bitwert des Pixels durch 2^n geteilt, wobei n gleich der Anzahl der zur Rauschreduzierung abgetrennten niedrigstwertigen Bits ist. In Zeile 10 der zweiten Stufe wird die erforderliche Anzahl von Vorhersagen für den Wert jedes Pixels erstellt, und in Zeile 11 werden die vorhergesagten Werte mit dem tatsächlichen Wert des Pixels verglichen und die Differenzwerte zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten und dem tatsächlichen Wert berechnet. In Zeile 11 wird auch der Differenzwertmedian aus den Differenzwerten für jedes Pixel ausgewählt. In Zeile 12 wird überprüft, ob der Differenzwertmedian absolut gesehen kleiner oder gleich 6 ist, und falls dies der Fall ist, wird in Zeile 13 der passende Bitcode variabler Länge, der dem Differenzwertmedian entspricht, aus der Nachschlagtabelle aus Figur 9 ausgewählt und der passende Bitcode variabler Länge für das Pixel ausgegeben. Falls bestimmt wird, daß der Wert des Differenzwertmedians absolut gesehen größer als 6 ist, dann wird in Zeile 14 der passende Code ausgewählt, nämlich "Lit 1" oder "Lit N", der ausgegeben wird, und in Zeile 15 wird nach dem betreffenden Bitcode "Lit 1" oder "Lit N" der tatsächliche Pixelwert ausgegeben. Sollte eine Folge von Pixeln auftreten, bei denen der tatsächliche Wert ausgegeben werden soll, wird hinter dem Code für "Lit N" die Anzahl der tatsächlichen Werte in der Folge wie bereits beschrieben in einem 4-Bit-Code ausgegeben. In Zeile 16 werden die abgetrennten niedrigstwertigen Bits zusammen mit entweder

dem Bitcode variabler Länge für jedes Pixel oder dem tatsächlichen Wert für jedes Pixel, je nachdem, ausgegeben.

Unter Bezug auf Figur 15 wird nun das Flußschaubild des Computerprogramms kurz beschrieben. Es werden die digitalen Bilddaten empfangen, und der Vorhersagetyp wird ausgewählt. Diese Auswahl erfolgt normalerweise durch den Bediener. Mit anderen Worten wählt der Bediener aus, ob für jedes Pixel drei Vorhersagen, fünf oder möglicherweise sieben erstellt werden sollen, und die Operation bestimmt dann die Algorithmen zum Erstellen jeder Vorhersage. Die erfaßten digitalen Bilddaten werden zu Block 1 weitergeleitet, der die Bitebenen identifiziert, die Rauschen beinhalten, und der die Anzahl der erforderlichenfalls abzutrennenden niedrigstwertigen Bits bestimmt. Die digitalen Bilddaten werden dann durch den Block 2 geleitet, der die Graustufenhäufigkeitszeichenfolge der in Figur 5(a) dargestellten Art vorbereitet. Das Häufigkeitshistogramm wird dann zu Block 3 weitergeleitet, der die Nachschlagtabelle der Art aus Figur 5(b) vorbereitet. Das Häufigkeitshistogramm wird außerdem zu Block 4 weitergeleitet, der die inverse Nachschlagtabelle der in Figur 5(c) dargestellten Art vorbereitet, um das Bild wiederherzustellen. Die digitalen Bilddaten werden auch zu Block 5 weitergeleitet, der die Graustufenwerte des Bildes reduziert, indem eine geeignete Nachschlagtabelle der Art aus Figur 5(b) verwendet wird. Das aus Block 5 herrührende abgeänderte Bild wird an Block 6 weitergeleitet, wo die durch Block 1 bestimmte Anzahl der niedrigstwertigen Bits von dem abgeänderten Bild abgetrennt wird. Das abgeänderte Bild, von dem die niedrigstwertigen Bits abgetrennt wurden, wird dann an Block 7 weitergeleitet, der dann die betreffende Anzahl von Vorhersagen von Graustufenwerten für jedes Pixel auf der Grundlage der ausgewählten Anzahl der zu erstellenden Vorhersagen vorbereitet, und der die vorhergesagten Werte mit dem tatsächlichen Graustufenwert des Pixels des abgeänderten Bilds vergleicht und jeweils den Differenzwert zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten und dem tatsächlichen Wert berechnet. Block 7 wählt dann den Differenzwertmedian der Differenzwerte aus. Block 8 überprüft, ob der Wert des Differenzwertmedians für jedes Pixel absolut gesehen kleiner oder

gleich 6 ist. Falls er kleiner oder gleich 6 ist, wird der Differenzwert durch Block 9 codiert, indem die Codes variabler Länge aus Figur 9 verwendet werden. Sollte Block 8 bestimmen, daß der Wert des Differenzwertmedians absolut gesehen größer als 6 ist, wird durch Block 10 der passende Bitcode "Lit 1", der einen tatsächlichen Wert anzeigt, ausgegeben, und der tatsächliche Wert des Pixels wird nachfolgend durch Block 11 ausgegeben, um eine Bitfolge der in Figur 12 gezeigten Art zu bilden. Das Bild kann dann abgelegt oder übertragen werden oder einer weiteren bekannten Komprimierung unterzogen und dann abgelegt oder übertragen werden.

Die Vorteile der Erfindung sind zahlreich. Wegen der Tatsache, daß eine Anzahl von Vorhersagen für den Grauwert für jedes Pixel erstellt wird, wird jegliches Rauschen, das in einzelnen vorhergesagten Werten auftreten kann, deswegen abgetrennt, weil der Differenzwertmedian auf der Grundlage der Vorhersagen ausgewählt wird. Wegen der Tatsache, daß der zum Codieren des Differenzwertmedians verwendete Code ein Bitcode variabler Länge ist, wird eine effiziente Komprimierung von Daten erreicht, und indem den am häufigsten auftretenden Differenzwertmedianen die kürzesten Codes zugeordnet werden, wird eine weitere starke Reduzierung des komprimierten Bildes erreicht.

Wenn das gewonnene Bild bereits durch Kontrastverstärkung verändert wurde, verbessert das Reduzieren der zahlenmäßigen Unterschiede zwischen den in dem Bild aufgetretenden Graustufenwerten auf Eins deutlich den Prozeß des Komprimierens. Da in den meisten natürlicherweise vorkommenden Bildern, typischerweise in den Röntgenbildern, im allgemeinen zwischen benachbarten Pixeln keine plötzlichen Sprünge in den Stufenwerten auftreten, sollten somit, falls die Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerten Eins sind, die Unterschiede in den Graustufenwerten zwischen benachbarten Pixeln relativ niedrig sein und üblicherweise in der Größenordnung von 0 bis 6 liegen. Dadurch wird somit gewährleistet, daß die Differenzwertmediane zwischen den vorhergesagten und den tatsächlichen Werten der Pixel relativ klein und in den meisten Fällen kleiner als ± 1 sind, siehe die Verteilung der Dif-

ferenzwerte in Figur 10. Dadurch wird die beim Komprimieren zu erreichende Reduktion weiter erhöht. Das Abtrennen von Rauschen von den Bitwerten jedes Pixels vor der Komprimierung trägt weiter zur Effizienz der Komprimierung bei, da man herausgefunden hat, daß das Komprimieren von Rauschen keinen Vorteil mit sich bringt. Die Verwendung von Medianwerten der Differenzwerte führt zu zwei bedeutenden Vorteilen in einem Schritt. Zum einen werden die Ergebnisse von verschiedenen aufeinander abgestimmten Vorhersagen kombiniert, und diese abgestimmten Vorhersagen sind so ausgewählt, daß sie gut zusammenwirken, und jede ist so ausgewählt, daß sie zu bestimmten Eigenheiten der Bilddaten paßt. Zum zweiten wird Rauschen in einem Pixel, für das eine einzelne Vorhersage erstellt wird, dadurch reduziert, daß Werte von falschen Vorhersagen ignoriert werden. Dies ist wichtig, weil die effizientesten Vorhersagen auf einer kleinen Matrix von direkt benachbarten Pixelwerten beruhen, und derartige Vorhersagen können beträchtlichem Rauschen ausgesetzt sein. Diese Matrix von Nachbarpixeln, die zur Verfügung steht, um den Wert des Pixels $P_{(i,j)}$ vorherzusagen, kann in Figur 6 klar erkannt werden. Es ist einem Fachmann ersichtlich, daß nur vorangehende Werte der jeweiligen Zeile und von den vorhergehenden Zeilen für die Vorhersage zur Verfügung stehen, wenn die Komprimierung und Dekomprimierung in einer Zeilenabtafstreihenfolge durchgeführt wird.

Es wurde allgemein herausgefunden, daß das erfindungsgemäße Verfahren relativ hohe Komprimierungsverhältnisse, typischerweise in der Größenordnung von 4:1 bereitstellt, ohne Verlust an Bilddaten.

Es ist einem Fachmann klar, daß, weil das erste Pixel in der ersten Zeile und in der ersten Spalte, mit anderen Worten das Pixel $P_{(1,1)}$, das erste abzutastende Pixel ist, es nicht möglich ist, eine Vorhersage für dieses Pixel zu erstellen, und somit wird der tatsächliche Wert des ersten Pixels in der Bitzeichenfolge in geeigneter Weise wie bereits beschrieben bitweise zusammengefaßt. In ähnlicher Weise wird, weil es nicht möglich ist, Vorhersagen für die Pixel in der ersten Zeile auf Pixeln

in einer zuvor auftretenden Zeile basieren zu lassen, eine geringere Anzahl von Vorhersagen für die Pixel $P_{[1,2]}$ und so fort in der ersten Zeile erstellt. In Fällen, in denen drei Vorhersagen erstellt werden, wie dies unter Bezug auf die Figuren 7(a), (b), (c) und (d) beschrieben wurde, kann im allgemeinen nur die Vorhersage aus Figur 7(a), nämlich die Vorhersage P_1 für die Pixel von $P_{[1,2]}$ und so fort für die erste Zeile erstellt werden. Die zwischen den vorhergesagten Werten und den tatsächlichen Werten der betreffenden Pixel berechneten Differenzwerte werden dann codiert. Die zusammen mit dem bitweise zusammengefaßten Bild abgelegte und übertragene Kopfzeileninformation umfaßt den Algorithmus oder die Algorithmen, der/die zum Erstellen der Vorhersagen der vorhergesagten Werte der Pixel in der ersten Zeile des Bildes verwendet wurde(n). Es ist klar, daß, wenn fünf Vorhersagen für den Graustufenwert jedes Pixels unter Verwendung der Vorhersagen aus Figur 7(e) oder (f) erstellt wurden, es nicht möglich ist, fünf Vorhersagen für die Pixel in den ersten beiden Zeilen zu erstellen, und entsprechend werden diese ersten beiden Zeilen des Bilds behandelt wie gerade beschrieben.

Es ist klar, daß, auch wenn das Verfahren zum Komprimieren so beschrieben wurde, daß es die acht Schritte aus Figur 2 umfaßt, wie bereits besprochen Schritt 2 weggelassen werden kann, wenn ein gewonnenes Bild nicht so verändert wurde, daß Lücken in den Graustufenwerten resultieren. In ähnlicher Weise kann in bestimmten Fällen Schritt 3 weggelassen werden. Zum einen kann Schritt 3 weggelassen werden, wenn in dem gewonnenen Bild wenig Rauschen vorhanden ist, und selbst wenn in dem gewonnenen Bild Rauschen vorhanden ist, kann in bestimmten Fällen Schritt 3 weggelassen werden. Die Schritte 4, 5 und 6 aus Figur 2 sind für die Erfindung wesentlich, es ist jedoch klar, daß jede ungradzahlige Anzahl von Vorhersagen von Pixelwerten erstellt werden kann, solange nur mindestens drei Vorhersagen gegeben sind, um einen Differenzwertmedian bereitzustellen. Es ist außerdem klar, daß, auch wenn bestimmte Bitcodes zum Codieren des Differenzwertmedians beschrieben wurden, andere geeignete Bitcodes bereitgestellt werden können, auch wenn, wie oben besprochen, es wichtig ist, daß die Bit-

codes von kürzestmöglicher Länge und vorzugsweise von variabler Länge sein sollten, wobei die Codes mit den kürzesten Längen den am häufigsten auftretenden Differenzwertmedianen zugeordnet sind. Eine bitweise Zusammenfassung ist für die Erfindung wesentlich, es können aber andere geeignete Verfahren zum bitweisen Zusammenfassen verwendet werden.

Wie oben besprochen, ist es klar, daß die Anzahl der den Graustufenwert jedes Pixels definierenden Bits für das Verfahren der vorliegenden Erfindung irrelevant ist. Das erfindungsgemäße Verfahren zum Komprimieren digitaler Bilddaten kann ungeachtet der Anzahl der die Graustufenwerte der Pixel definierenden Bits verwendet werden. In der Tat ist es klar, daß die Komprimierung desto effizienter ist, je höher die Anzahl der Bits ist, die die Graustufenwerte der Pixel definieren. Ferner ist vorgesehen, daß, wenn mehr als 8 Bits verwendet werden, um die Graustufenwerte zu definieren, beispielsweise 10 bis 12 Bits, im Falle des Auftretens von Rauschen mehr als die beiden niedrigstwertigen Bits von dem Wert von jedem Pixel abgetrennt werden können, falls notwendig, und in bestimmten Fällen ist vorgesehen, daß bis zu 4 und möglicherweise 5 niedrigstwertige Bits von dem Pixelwert abgetrennt werden können.

Es ist außerdem klar, daß die Reihenfolge, in der die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt wird, verändert werden kann. Beispielsweise kann eine Rauschabtrennung an dem gewonnenen Bild vor der Abänderung des Bildes zum Zwecke der Reduzierung der zahlenmäßigen Unterschiede zwischen den in dem Bild auftretenden Graustufenwerten erfolgen.

Auch wenn das Verfahren so beschrieben wurde, daß es bei der Komprimierung eines digitalen Röntgenbildes in Schwarzweiß mit Graustufen verwendet wird, ist es klar, daß das Verfahren auch zum Komprimieren eines digitalen Farbbildes verwendet werden kann, bei dem die Pixel die Intensitäten der entsprechenden Grundfarben definieren. In derartigen Fällen würde das Bild eine Gruppe aus drei Bildern umfassen, eines für jede der drei Grundfarben, und das Bild für jede Farbe kann getrennt komprimiert werden, oder alternativ können die Bilder gleichzeitig

komprimiert werden, wobei entweder die Zeilen oder Spalten der Pixel einer Zeile oder Spalte von Pixeln entsprechen würde, die sich von Farbbild zu Farbbild erstreckt.

Die Erfindung ist nicht auf die oben beschriebene Ausführungsform beschränkt, die im Grundaufbau und in Einzelheiten verändert werden kann.

4558

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Komprimieren von digitalen Bilddaten, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt:

Abtasten einer Mehrzahl von Bereichen ($P_{[i,j]}$) der Bilddaten in Folge und Bestimmen der tatsächlichen Werte der Bilddaten in entsprechenden Bereichen ($P_{[i,j]}$),

Erstellen mindestens dreier Vorhersagen des Werts der Bilddaten für jeden von mindestens einigen Bereichen ($P_{[i,j]}$) auf der Grundlage der bestimmten tatsächlichen Werte der Bilddaten einiger der bereits abgetasteten Bereiche ($P_{[i,j-1]}$, $P_{[i-1,j]}$, $P_{[i-1,j-1]}$), die zu dem Bereich ($P_{[i,j]}$) benachbart sind, für den der Wert der Bilddaten vorhergesagt wird,

Vergleichen jedes der mindestens zwei vorhergesagten Werte der Bilddaten mit dem tatsächlichen Wert der Bilddaten ($P_{[i,j]}$) des entsprechenden Bereichs ($P_{[i,j]}$) für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den die Vorhersage erstellt wird,

Berechnen der Differenzwerte zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten der Bilddaten und dem tatsächlichen Wert der Bilddaten für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird,

Auswählen des Differenzwerts, der der Median der mindestens drei Differenzwerte ist, Differenzwertmedian, für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird, und

Komprimieren der entsprechenden Differenzwertmediane, dadurch gekennzeichnet, daß

eine erste der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird, auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines ersten Bereichs ($P_{[i,j-1]}$) basiert, der zu dem Bereich ($P_{[i,j]}$),

für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der erste Bereich ($P_{[i,j-1]}$) in der Zeile (i) liegt, in der der Bereich ($P_{[i,j]}$) liegt, für den die Vorhersage erstellt wird,

ein zweiter der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird, auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines zweiten Bereichs ($P_{[i-1,j]}$) basiert, der zu dem Bereich ($P_{[i,j]}$), für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der zweite Bereich ($P_{[i-1,j]}$) in der Spalte (j) liegt, in der der Bereich ($P_{[i,j]}$) liegt, für den die Vorhersage erstellt wird, und

eine dritte der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird, auf den Gradienten der tatsächlichen Bilddatenwerte von einem dritten ($P_{[i-1,j-1]}$) zu dem ersten Bereich ($P_{[i,j-1]}$) und von dem dritten Bereich ($P_{[i-1,j-1]}$) zu dem zweiten Bereich ($P_{[i-1,j]}$) basiert, wobei der dritte Bereich ($P_{[i-1,j-1]}$) benachbart zu den ersten und zweiten Bereichen ($P_{[i,j-1]}$), ($P_{[i-1,j]}$) angeordnet ist und in der Zeile ($i-1$) liegt, in der der zweite Bereich ($P_{[i-1,j]}$) liegt, und in der Spalte ($j-1$) liegt, in der der erste Bereich ($P_{[i,j-1]}$) liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die digitalen Bilddaten Bereich ($P_{[i,j]}$) für Bereich ($P_{[i,j]}$) als matrixförmige Anordnung von Bereichen ($P_{[i,j]}$) abgetastet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jede dritte Vorhersage der Bilddatenwerte die Neigung der Gradienten ($P_{[i-1,j-1]}$, $P_{[i,j-1]}$), ($P_{[i-1,j-1]}$, $P_{[i-1,j]}$) berücksichtigt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einige der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich $(P_{[i,j]})$, für den eine Vorhersage erstellt wird, auf den tatsächlichen Bilddatenwerten mindestens zweier Bereiche $(P_{[i,j-2]}, P_{[i,j-1]}, P_{[i-2,j]}, P_{[i-1,j]})$ basieren, von denen einer $(P_{[i,j-1]}, P_{[i-1,j]})$ näher an dem Bereich $(P_{[i,j]})$ liegt, für den die Vorhersage erstellt wird, als die anderen $(P_{[i,j-2]}, P_{[i-2,j]})$ der mindestens zwei Bereiche, wobei die tatsächlichen Bilddatenwerte dieser mindestens zwei Bereiche gemäß ihrer Nähe zu dem Bereich $(P_{[i,j]})$ gewichtet werden, für den eine Vorhersage erstellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten für jeden Bereich $(P_{[i,j]})$ des digitalen Bilds erstellt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die entsprechenden Differenzwertmediane komprimiert werden, indem die Differenzwertmediane durch Codes mit entsprechend variabler Länge codiert werden, wobei den entsprechenden Differenzwertmedianen eindeutige Codes zugeordnet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der kürzeste Code dem am häufigsten auftretenden Differenzwertmedian zugeordnet wird, und daß der längste Code dem am wenigstens häufig auftretenden Differenzwertmedian zugeordnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß dem am häufigsten auftretenden Differenzwertmedian der Wert Null zugeordnet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Codes für die positiven und negativen Werte der absolut gesehen identischen Differenzwertmediane unterschiedlich sind.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die den Differenzwertmedianen zugeordneten Codes binäre Codes sind.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge des längsten Codes in Bits (Bitlänge) für die Differenzwertmediane die Bitlänge des Datenwerts jedes Bereichs nicht überschreitet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Differenzwertmedians für einen Bereich ($P_{(i,j)}$) der tatsächliche Datenwert des Bereichs beibehalten wird, wenn der Differenzwertmedian für diesen Bereich ($P_{(i,j)}$) einen vorbestimmten Wert überschreitet.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes Kennzeichen (flag means) gesetzt wird, um anzuzeigen, daß die Daten, die dem Kennzeichen folgen, der tatsächliche Datenwert des Bereichs ($P_{(i,j)}$) sind.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweites Kennzeichen gesetzt wird, um eine Folge von tatsächlichen Datenwerten anzuzeigen, wenn die Differenzwertmediane für eine Folge von Bereichen ($P_{(i,j)}$) einen vorbestimmten Wert überschreiten.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der tatsächlichen Datenwerte, die Teil der Folge sind, dem zweiten Kennzeichen zugeordnet ist.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Kennzeichen vor der Folge der tatsächlichen Datenwerte bereitgestellt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die codierten Differenzwertmediane und die tatsächlichen Datenwerte für die entsprechenden Bereiche in einem vorbestimmten Format zum späteren Rückgewinnen und Dekomprimieren abgelegt werden.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von den digitalen Bilddaten Rauschen abgetrennt wird, indem von dem Wert der Daten in den entsprechenden Bereichen ($P_{[i,j]}$), in denen eine Vorhersage des Datenwerts erstellt werden soll, und von den Bereichen ($P_{[i,j-1]}$, $P_{[i-1,j]}$, $P_{[i-1,j-1]}$), auf denen die Vorhersagen basieren, vor dem Erstellen der Vorhersage mindestens das niedrigstwertige Bit abgetrennt wird, und daß die abgetrennten niedrigstwertigen Bits verbunden mit den entsprechenden komprimierten Differenzwertmediane der entsprechenden Bereiche abgelegt werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Datenwerte, die für die entsprechenden Bereiche verbleiben, bei denen ein oder mehrere niedrigstwertige Bits abgetrennt wurden, durch 2^n geteilt werden, wobei n gleich der Anzahl der abgetrennten niedrigstwertigen Bits ist.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Abtrennen von Rauschen mindestens ein Teil

der digitalen Bilddaten abgetastet wird, um die Anzahl der abzutrennenden niedrigstwertigen Bits zu bestimmen.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die digitalen Bilddaten vor dem Berechnen der vorhergesagten Datenwerte abgeändert werden, um die in den digitalen Bilddaten auftretende zahlenmäßige Differenz zwischen den Datenwerten zu verringern, wobei die digitalen Bilddaten abgeändert werden, indem sämtliche in den Bilddaten auftretenden bestimmten tatsächlichen Datenwerte in der Form einer Reihe von tatsächlichen Datenwerten in aufsteigender Reihenfolge der Datenwerte angeordnet werden, wobei jedem in dem Bild auftretenden tatsächlichen Datenwert ein abgeänderter Datenwert zugeordnet wird, so daß der zahlenmäßige Unterschied zwischen benachbarten abgeänderten Datenwerten geringer als der zahlenmäßige Unterschied zwischen den entsprechenden benachbarten tatsächlichen Datenwerten in der Reihe ist, wobei die abgeänderten Datenwerte die Datenwerte bilden, auf denen die Vorhersagen basieren.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die abgeänderten Datenwerte so zugeordnet werden, daß der Unterschied zwischen abgeänderten Datenwerten, die in der Reihe von Datenwerten benachbarten Datenwerten entsprechen, Eins ist.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß die abgeänderten Datenwerte und die tatsächlichen Datenwerte durch Querverweis in einer Nachschlagtabelle einander zugeordnet sind.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß eine inverse Nachschlagtabelle, die auf den abgeänderten und

den tatsächlichen Datenwerten basiert, zur Verwendung bei der nachfolgenden Rekonstruktion des Bildes vorbereitet wird.

25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß jede Nachschlagtabelle mit den abgelegten komprimierten Differenzwertmedianen abgelegt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß zum Vorbereiten jeder Nachschlagtabelle ein Histogramm der in den digitalen Bilddaten auftretenden tatsächlichen Datenwerte erstellt wird.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Datenwert jedes Bereichs einen Wert einer Graustufe zwischen einschließlich Schwarz und Weiß definiert.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Datenwert jedes Bereichs einen Wert der Intensität einer Farbe in einem Farbbild definiert.

29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die komprimierten Datenwerte des digitalen Bilds in einem vorbestimmten Format zum Wiederherstellen derselben für eine nachfolgende Dekomprimierung abgelegt werden.

30. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Bereich $(P_{[i,j]})$ ein Pixel $(P_{[i,j]})$ definiert.

31. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das digitale Bild ein Bild im Rasterformat ist.

32. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren an einem gewonnenen Bild durchgeführt wird, nachdem das Bild gewonnen wurde.

33. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren an einem gewonnenen Bild durchgeführt wird, während das Bild im selben Zuge gewonnen wird.

34. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren an dem gewonnenen Bild mit Zwischenspeicherung oder parallel zu einer Zwischenspeicherung durchgeführt wird.

35. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bild in komprimierter Form zum Ablegen und/oder Übertragen geeignet ist.

36. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren zum Komprimieren eines dreidimensionalen Bilds verwendet wird, wobei eine der Achsen des dreidimensionalen Bilds die Zeit ist, wobei die Zeitachse eine Zeile oder Spalte der Matrix bildet, und diese Zeile oder Spalte die Zeile oder Spalte bildet, in der ein Bereich oder Bereiche liegen kann/können, der/die eine Grundlage zum Vorhersagen eines Datenwerts eines Bereichs bildet/bilden.

37. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren ferner den Schritt des Dekomprimierens der komprimierten digitalen Bilddaten umfaßt, wobei das Verfahren zum Dekomprimieren die Schritte in

umgekehrter Reihenfolge gegenüber der der Schritte des Verfahrens zum Komprimieren umfaßt.

38. Vorrichtung zum Komprimieren von digitalen Bilddaten, wobei die Vorrichtung umfaßt:

eine Einrichtung, um eine Mehrzahl von Bereichen ($P_{[i,j]}$) der Bilddaten in Folge abzutasten, um die tatsächlichen Werte der Bilddaten in entsprechenden Bereichen ($P_{[i,j]}$) zu bestimmen,

eine Einrichtung zum Erstellen von mindestens drei Vorhersagen für den Wert von Bilddaten in jedem von mindestens einigen der Bereiche ($P_{[i,j]}$) auf der Grundlage der bestimmten tatsächlichen Werte einiger der bereits abgetasteten Bereiche ($P_{[i,j-1]}$, $P_{[i-1,j]}$, $P_{[i-1,j-1]}$), die zu dem Bereich ($P_{[i,j]}$) benachbart sind, für den die Bilddaten vorhergesagt werden,

eine Einrichtung zum Vergleichen jedes der mindestens drei vorhergesagten Werte von Bilddaten mit dem tatsächlichen Wert von Bilddaten des entsprechenden Bereichs ($P_{[i,j]}$) für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird,

eine Einrichtung zum Berechnen der Werte der Unterschiede zwischen den entsprechenden vorhergesagten Werten der Bilddaten und dem tatsächlichen Wert der Bilddaten für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird,

eine Einrichtung zum Auswählen des Medians der Differenzwerte (Differenzwertmedians) für jeden Bereich ($P_{[i,j]}$), für den eine Vorhersage erstellt wird, und

eine Einrichtung zum Komprimieren der entsprechenden Differenzwertmediane, dadurch gekennzeichnet, daß

die Einrichtung zum Erstellen der mindestens drei Vorhersagen umfaßt:

eine Einrichtung zum Erstellen einer ersten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines ersten Bereichs ($P_{[i,j-1]}$) ba-

siert, der zu dem Bereich $(P_{[i,j]})$ benachbart ist, für den die Vorhersage erstellt wird, wobei der erste Bereich $(P_{[i,j-1]})$ in der Zeile (i) liegt, in der der Bereich $(P_{[i,j]})$ liegt, für den die Vorhersage erstellt wird,

eine Einrichtung zum Erstellen einer zweiten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf dem tatsächlichen Bilddatenwert eines zweiten Bereichs $(P_{[i-1,j]})$ basiert, der zu dem Bereich $(P_{[i,j]})$, für den die Vorhersage erstellt wird, benachbart ist, wobei der zweite Bereich $(P_{[i-1,j]})$ in der Spalte (j) liegt, in der der Bereich $(P_{[i,j]})$ liegt, für den die Vorhersage erstellt wird, und

eine Einrichtung zum Erstellen einer dritten der mindestens drei Vorhersagen von Bilddatenwerten, die auf den Gradienten der tatsächlichen Bilddatenwerte von einem dritten Bereich $(P_{[i-1,j-1]})$ zu dem ersten Bereich $(P_{[i,j-1]})$ und von dem dritten Bereich $(P_{[i-1,j-1]})$ zu dem zweiten Bereich $(P_{[i,j-1]})$ basiert, wobei der dritte Bereich $(P_{[i-1,j-1]})$ benachbart zu den ersten und zweiten Bereichen $(P_{[i,j-1]})$, $(P_{[i-1,j]})$ und benachbart zu dem Bereich $(P_{[i,j]})$, für den die Vorhersage erstellt wird, angeordnet ist und in der Zeile $(i-1)$ liegt, in der der zweite Bereich $(P_{[i-1,j]})$ liegt, und in der Spalte $(j-1)$ liegt, in der der erste Bereich $(P_{[i,j-1]})$ liegt.

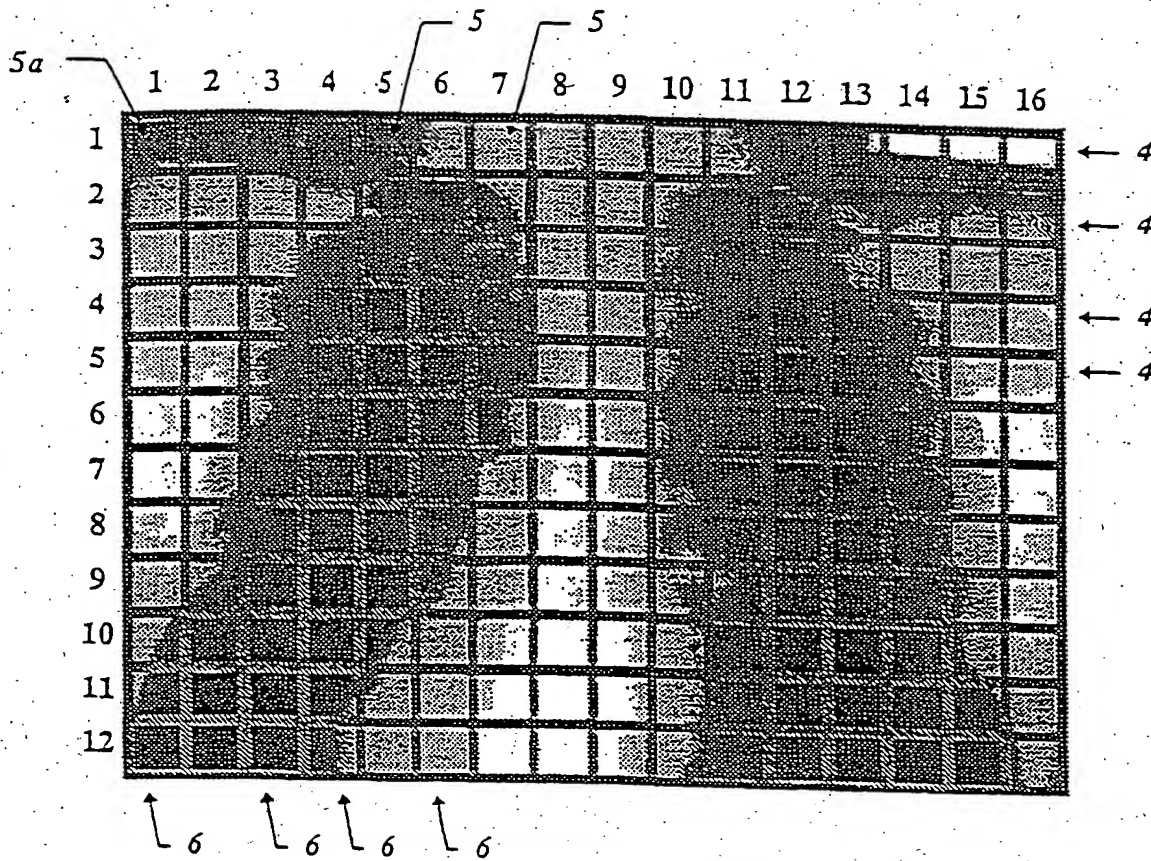


Fig. 1

	j	j+1	j+2	j+3	j+4	j+5	j+6	j+7	j+8	j+9
abgeänderte Werte	10	13	17	26	34	39	41	42	48	45
Rauschkomponente	1	2	3	0	1	1	0	2	3	0
Differenzmediane	+1	+1	-2	-9	+8	+2	-1	0	+7	+1

Fig. 11

+1	+1	-2	Lit 2	26	34	+2	-1	0	Lit 1	48	+1
101 01	1101 10	11100 11	11111111 0010	1011010 00	100111 01	1101 01	100 00	10 10	11111110	1110000 11	1101 00

Fig. 12

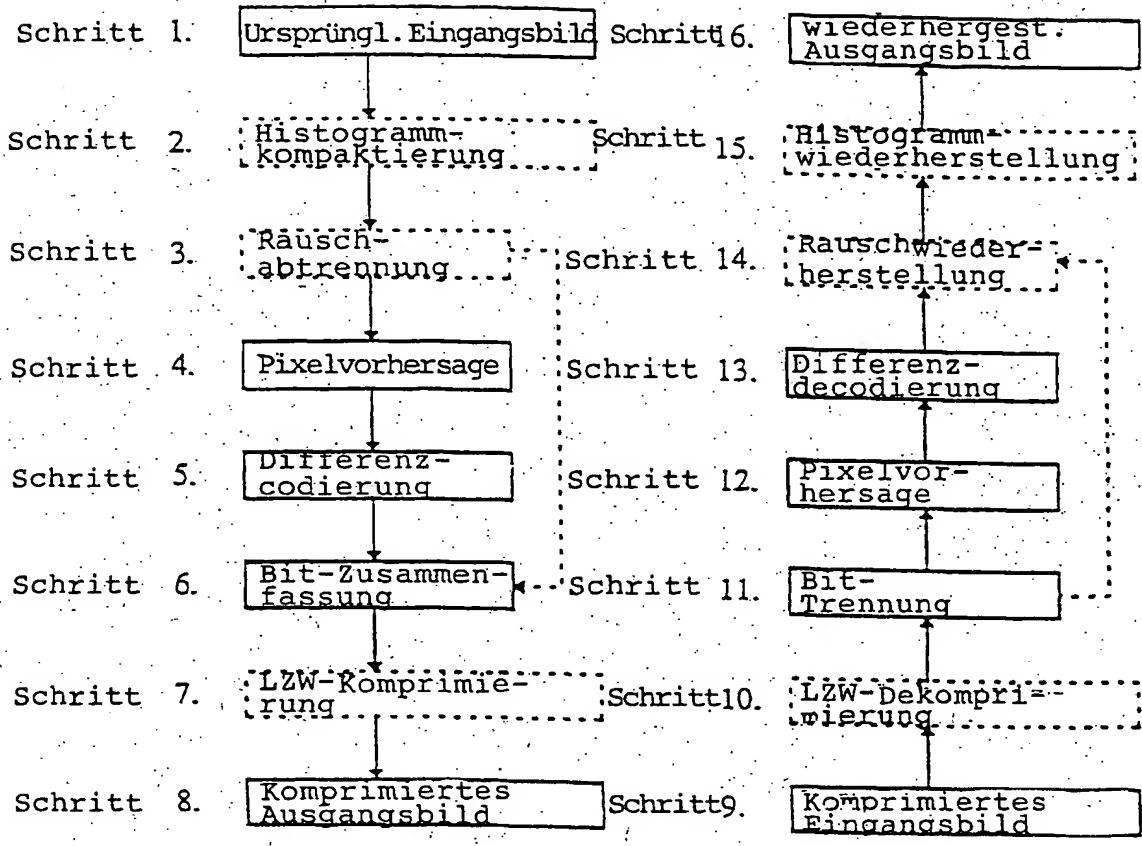


Fig. 2

Fig. 3

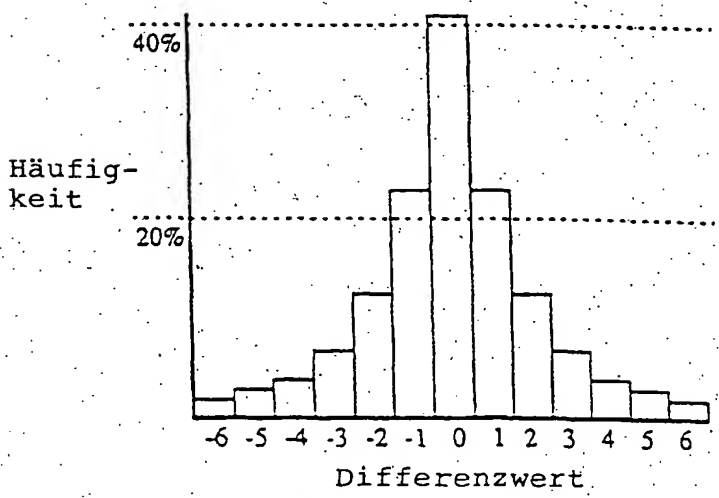


Fig. 10

Differenz	Bitcode
-6	11111100
-5	1111100
-4	111100
-3	11100
-2	1100
-1	100
0	0
+1	101
+2	1101
+3	11101
+4	111101
+5	1111101
+6	11111101
Lit 1	11111110
Lit N	11111111

Fig. 9

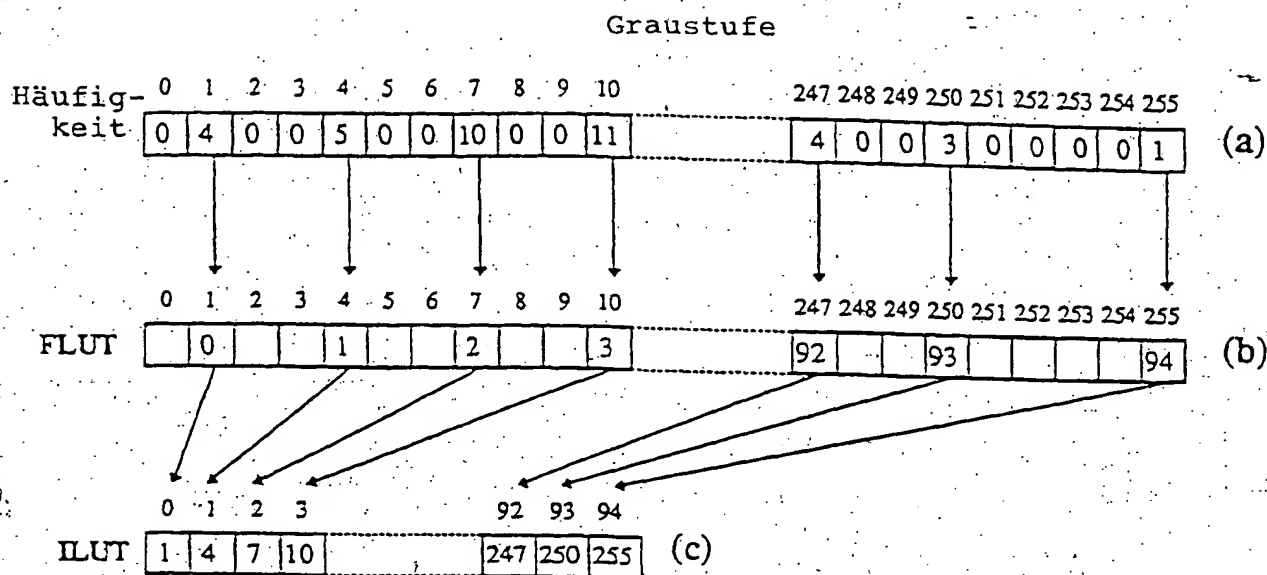
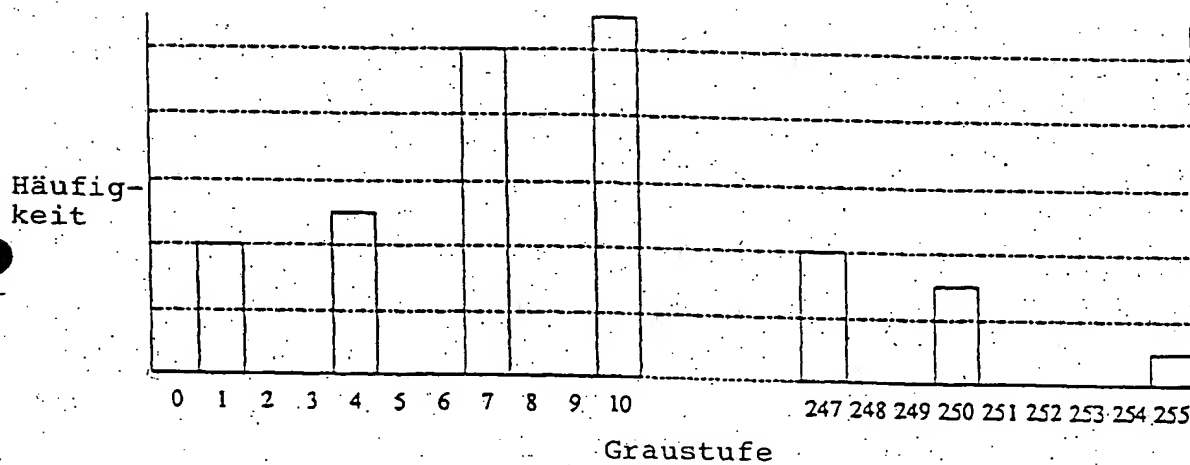


Fig. 5



	Sp. $i-2$	Sp. $i-1$	Sp. j	Sp. $j+1$	Sp. $j+2$	Sp. $j+3$	Sp. $j+4$	Sp. $j+5$	Sp. $j+6$	Sp. $j+7$	Sp. $j+8$	Sp. $j+9$
Zeile $i-2$	$P_{(i-2,j-2)}$	$P_{(i-2,j-1)}$	$P_{(i-2,j)}$	$P_{(i-2,j+1)}$	$P_{(i-2,j+2)}$	$P_{(i-2,j+3)}$	$P_{(i-2,j+4)}$	$P_{(i-2,j+5)}$	$P_{(i-2,j+6)}$	$P_{(i-2,j+7)}$	$P_{(i-2,j+8)}$	$P_{(i-2,j+9)}$
Zeile $i-1$	17	32	45	55	76	150	147	157	171	172	166	149
Zeile i	11	26	41	54	71	104	137	157	164	170	195	180

Abgetrennte Rauschkomponente (2 niedrigstwertige Bits)

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
$i-1$	0	1	3	0	2	3	1	3	0	2	1
i	2	1	2	3	0	1	1	0	2	3	0

Verbleibende Bilddaten (6 Bits pro Pixel)

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
$i-1$	8	11	13	19	37	36	39	42	43	41	37
i	6	10	13	17	26	34	39	41	42	48	45

Fig. 6

Unterschiede bei Verwendung der Vorhersage \hat{p}_1 :

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
i		+4	+3	+4	+9	+8	+5	+2	+1	+6	-3

Unterschiede bei Verwendung der Vorhersage \hat{p}_2 :

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
i	-2	-1	0	-2	-11	-2	0	-1	-1	+7	+8

Unterschiede bei Verwendung der Vorhersage \hat{p}_3 :

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
i		+1	+1	-2	-9	+9	+2	-1	0	+8	+1

Differenzmedian (Median von \hat{p}_1 , \hat{p}_2 und \hat{p}_3):

	$i-1$	j	$j+1$	$j+2$	$j+3$	$j+4$	$j+5$	$j+6$	$j+7$	$j+8$	$j+9$
i		+1	+1	-2	-9	+8	+2	-1	0	+7	+1

Fig. 8

30101

5/8

$$\hat{p}1[i,j] = p[i, j - 1]$$

1	
---	--

(a)

$$\hat{p}2[i,j] = p[i - 1, j]$$

1

(b)

$$\hat{p}3[i,j] = p[i, j - 1] + (p[i - 1, j] - p[i - 1, j - 1])$$

-1	1
1	

(c)

$$\text{median}(\hat{p}1[i,j], \hat{p}2[i,j], \hat{p}3[i,j])$$

1	
1	

1

-1	1
1	

(d)

$$\text{median}(\hat{p}1[i,j], \hat{p}2[i,j], \hat{p}3[i,j], \hat{p}4[i,j], \hat{p}5[i,j])$$

1	
---	--

1

-1	1
1	

-1	2	
----	---	--

-1
2

(e)

$$\text{median}(\hat{p}1[i,j], \hat{p}2[i,j], \hat{p}3[i,j], \hat{p}6[i,j], \hat{p}7[i,j])$$

1	
---	--

1

-1	1
1	

-1
2

	2

		-1
--	--	----

(f)

Fig. 7

Stufe 1 - Graustufenreduzierung und Rauschstatistik

```

func: Extrahiere Graustufenhäufigkeitszeichen-
      folge "freq[]"
      Setze Graustufenhäufigkeitszeichenfolge
      auf Null
      Für jedes Pixel im Bild
      Erhöhe Graustufenwerthäufigkeits-
      zählwert
      Ende für
      Schiebe freq[] zurück
Ende func

func: Berechne Graustufenreduzierung- und
      -wiederherstellungsnachschlagtabellen
      "flut[]" & "ilut[]"
      Für jeden von Null verschiedenen Grau-
      stufeneintrag in der Häufigkeitszeichen-
      folge "freq[]"
      Erzeuge einen Eintrag in "flut" mit
      Verweis auf die am nächsten zur Ver-
      fügung stehende Graustufe in "flut"
      Erzeuge einen Eintrag in "ilut" mit
      Verweis auf die von Null verschiedene
      Graustufe
      Ende für
      Schiebe "flut[]" & "ilut[]" zurück
Ende func

func: Berechne Anzahl der Rauschebenen"nr" unter
      Verwendung von Bitebenenentropiestatistik
      Setze "nr" auf Null
      Für jede Bitebene (beginnend mit der nied-
      rigstwertigen)
      Berechne Entropiestatistik
      Berechne Durchlaufstatistik
      Falls beide Tests kein Rauschen
      anzeigen, dann unterbreche für
      Erhöhe "nr"
      Ende für
      Schiebe "nr" zurück
Ende func

```

Fig. 13

Stufe 2 - Bildkomprimierung

```

proc: Gib Bildkopfzeileninformation aus
      Gib Bildbreite, Höhe, Bits pro Pixel aus      1
      Gib Anzahl der Rauschbits "nr" aus            2
      Gib Graustufenwiederherstellungsnach-
      schlagtafel "ilut[]" aus                        3
Ende proc

proc: Komprimiere Bild
      Rufe auf: Extrahiere Graustufenwert-
      häufigkeitszeichenfolge "freq[]"              4
      Rufe auf: Berechne Graustufenreduzierungs- und
      -wiederherstellungsfunktionen "flut[]" & "ilut[]" 5
      Rufe auf: Berechne Anzahl der Rauschebenen "nr"
      unter Verwendung von Bitebenenentropiestatistik 6
      Rufe auf: Gib Bildkopfzeileninformation aus      7
      Für jedes Pixel im Bild:
        Wende die Graustufenreduzierungsfunktion
        "flut[]" an                                   8
        Extrahiere gegebenenfalls die niedrigwertigen
        "nr"-Bits                                     9
        Berechne die ausgewählte Vorhersage unter
        Verwendung benachbarter Pixel                10
        Vergleiche vorhergesagten Wert mit
        tatsächlichem Pixelwert "Error"              11
        Falls "Error" absolut gesehen größer oder
        gleich 6 ist                                  12
          Gib entsprechenden eindeutigen Bitcode
          variabler Länge aus                          13
        Sonst: Falls "Error" absolut gesehen größer
        als 6 ist
          Gib eindeutigen Bitcode für wörtliche
          Angabe aus                                   14
          Gib Pixelwert wörtlich aus                   15
        Ende falls
        Gib gegebenenfalls extrahierte "nr"-Bits aus  16
Ende proc

```

Fig. 14

Eingangsdaten

Vorhersageart

Bilddaten

Stufe 1

1

Identifiziere
Bitebenen mit
Rauschen

Anzahl der
Rauschbits

2

Extrahiere
Graustufenwert-
häufigkeitszei-
chenfolge

Graustufen-
histogramm

Berechne Grau-
stufenreduzie-
rungsfunktion

Berechne Grau-
stufenwiederher-
stellungsfunktion

Reduzierungs-
Nachschlagtabelle

Reduziere
Graustufen

abgeändertes Bild

Trenne Rausch-
bits ab

abgeändertes
Bild

Berechne
Vorhersage

Vorhersage

Ver-
gleiche
mit abgeän-
dertem
Bild

error > 6

error <= 6

Rausch-
bits

Gib Wert
wörtlich
aus

Gib Bit-
code wört-
lich aus

Gib Error-
Bitcode aus

Wiederher-
stellungs-
Nach-
schlagtab.

Ausgangsdaten

Komprimiertes Bild

Fig. 15

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.